



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**Analisis Pengaruh Kontaminan Terhadap Distribusi  
Medan Listrik Pada Isolator Load Break Switch  
Menggunakan Finite Element Method**

Grignion Kevin Ilham Pratama  
NRP 2211100186

Dosen Pembimbing  
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
Danar Fahmi, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**Analysis of Contaminant Influence Upon Electrical  
Field Distribution On Load Break Switch Insulator  
Using Finite Element Method**

Grignion Kevin Ilham Pratama  
NRP 2211100186

Advisor  
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

**ANALISA PENGARUH KONTAMINAN TERHADAP  
DISTRIBUSI MEDAN LISTRIK PADA ISOLATOR  
LOAD BREAK SWITCH MENGGUNAKAN FINITE  
ELEMENT METHOD**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I,**

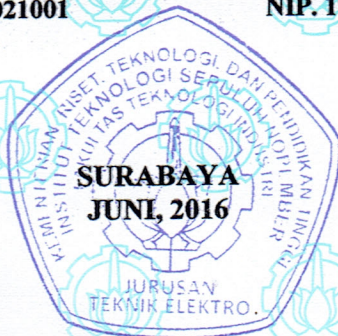


**Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.**  
**NIP. 197007121998021001**

**Dosen Pembimbing II,**



**Daniar Fahmi, S.T., M.T.**  
**NIP. 198909252014041002**



# **ANALISA PENGARUH KONTAMINAN TERHADAP DISTRIBUSI MEDAN LISTRIK PADA ISOLATOR LOAD BREAK SWITCH MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD**

**Nama** : Grignion Kevin Ilham Pratama  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.  
**Pembimbing II** : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

*Load Break Switch* adalah salah satu peralatan yang mengambil peran dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi sebagai pembatas antar *section*. Salah satu bagian penting dari *Load Break Switch* adalah isolatornya, dimana fungsi isolator disini untuk mengisolasi tegangan pada kawat penghantar agar tidak mengalir pada tiang distribusi. Isolator juga bertugas menahan medan listrik yang mengalir agar tidak terjadi distribusi medan listrik berlebihan yang dapat membahayakan makhluk hidup dan peralatan lain di sekitar tiang distribusi. Pada aplikasinya di lapangan, terdapat berbagai jenis kontaminan yang ada dan dapat mempengaruhi kemampuan dielektrik isolator *Load Break Switch* apabila menempel pada permukaannya. Oleh dari itu diperlukan analisa pengaruh kontaminan terhadap distribusi medan listriknya.

Pada tugas akhir ini, telah dilakukan analisa distribusi medan listrik pada *Load Break Switch* yang difokuskan pada bagian isolator menggunakan simulasi berbasis *Finite Element Method*. Analisa ini meliputi perbandingan medan listrik pada permukaan isolator, antara kondisi normal terhadap kondisi terkontaminasi air laut dan kondisi normal terhadap kondisi terkontaminasi debu. Dengan medan tertinggi saat kondisi isolator terkontaminasi air laut berturut-turut dengan kondisi terkontaminasi debu sebesar 266 kV/m dan 162 kV/m sedangkan saat kondisi normal sebesar 162 kV/m.

**Kata Kunci** : Isolator, Load Break Switch, Finite Element Method, Medan Listrik, Kontaminan

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ANALYSIS OF CONTAMINANT INFLUENCE UPON ELECTRICAL FIELD DISTRIBUTION ON LOAD BREAK SWITCH INSULATOR USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Name** : Grignion Kevin Ilham Pratama  
**Advisor I** : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.  
**Advisor II** : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

*Load Break Switch* is one of many electrical instruments that take part in low voltage electricity distribution networks which is suitable for switching operations and its commonly used as a sectionalizer. It is necessary to pay attention to its insulator which used to isolate the voltage at the phase line so it will not flow to the distribution tower. Insulators act to resist the ongoing large amount of electrical field that will endanger living things and other instruments around the distribution tower. In its application, there are several types of contaminants that will affect its dielectric strength. So, an analysis of contaminant influence upon its electrical field is critically needed.

In this study, had been done an analysis on its electrical field distribution focused on its insulator using a Finite Element Method. This analysis contains of electrical field comparison on Load Break Switch insulator surface, between insulator in normal condition towards seawater drops contaminated and normal condition towards sandy soil contaminated. And the highest point of electrical field consecutively in seawater contaminated and sandy soil contaminated in the value of 266 kV/m and 162 kV/m, meanwhile the value of its electrical field in normal condition in the value of 162 kV/m.

**Keyword :** Insulator, Load Break Switch, Finite Element Method, Electrical Field, Contaminant

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa melimpahkan berkat dan pemyertaan-Nya. Puji Tuhan penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Analisa Pengaruh Kontaminan Terhadap Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Load Break Switch Menggunakan Finite Element Method”** ini tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Saifurrohim dan Ibu Anggrainy serta Kishi dan Noah yang selalu memberikan nasehat, semangat, dan doa kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan tepat pada waktunya.
2. Bapak I Made Yulistya Negara dan Bapak Daniar Fahmi, atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Ahmad Danyalin, Ekaprana Danian, Faisal Satrio, dan Yusrizal Afif. yang telah memberikan inspirasi bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Segenap keluarga besar Kalpataru, terutama K-28 yang selalu setia memberikan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman Angkatan 2011 yang membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman-teman WP-Thok yang telah mendukung penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini..
7. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Jurusan Teknik Elektro-FTI, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.



Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2016

**Penulis**

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN .....	 1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Sistematika Penulisan.....	3
 BAB 2 LOAD BREAK SWITCH DAN KONTAMINAN.....	 5
2.1. Load Break Switch .....	5
2.2. Karakteristik Load Break Switch .....	6
2.3. Konstruksi Load Break Switch.....	6
2.4. Jenis-Jenis Bahan Isolator .....	7
2.4.1. Isolator Porselin .....	7
2.4.2. Isolator Gelas .....	7
2.4.3. Isolator Polimer .....	8
2.5. Pembentukan Sudut Kontak .....	9
2.6. Pembentukan Kontaminan Pada Isolator.....	9
2.7. Isolator Terkontaminasi.....	10
2.8. Pengaruh Kontaminan Terhadap Kinerja Isolator .....	10
2.9. Sifat-Sifat Kontaminan.....	11
2.9.1. Kontaminan yang Bersifat Konduktif .....	11
2.9.2. Kontaminan yang Bersifat Lembam ( <i>Inert</i> ) .....	11
2.10. Tingkat Polusi .....	12
 BAB 3 METODE DAN SIMULASI LOAD BREAK SWITCH.....	 15
3.1. Metode Element Hingga ( <i>Finite Element Method</i> ) .....	15
3.2. Perhitungan Medan Listrik Pada Isolator .....	15
3.2.1. Energi Pada Medan Listrik .....	16

3.3. Perhitungan Medan dengan Metode Elemen Hingga.....	17
3.4. Perhitungan Elemen Segitiga.....	18
3.4.1. Penyatuan Element Segitiga.....	19
3.5. Kontruksi dan Spesifikasi Load Break Switch .....	20
3.6. Material Penyusun Load Break Switch.....	22
3.7. Pemodelan Load Break Switch.....	23
3.8. Pemodelan Load Break Switch Kedalam Bentuk Elemen Segitiga .....	24
3.9. Simulasi Pembentukan Sudut Kontak.....	25
3.10. Kontaminasi Air Laut pada Permukaan Isolator.....	26
3.10.1. Perhitungan Luas Permukaan Isolator .....	27
3.10.2. Perhitungan ESDD ( <i>Equivalent Salt Deposit     Density</i> ) .....	30
3.11. Kontaminasi Debu pada Permukaan Isolator .....	30
 BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA.....	33
4.1. Tegangan Kerja Load Break Switch.....	33
4.2. Arah Distribusi Medan Listrik Load Break Switch .....	34
4.3. Pembentukan Sudut Kontak .....	36
4.4. Perbandingan Medan Listrik pada Isolator Load Break Switch pada Kondisi Normal dengan Kondisi Terkontaminasi Air Laut .....	37
4.4.1. Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator.....	37
4.4.2. Perbandingan Medan Antar Sirip Isolator .....	40
4.4.2.1. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Pertama Isolator .....	40
4.4.2.2. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kedua Isolator.....	41
4.4.2.3. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Ketiga Isolator.....	43
4.4.2.4. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keempat Isolator .....	44

4.4.2.5. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kelima Isolator .....	45
4.4.2.6. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keenam Isolator .....	46
4.4.3. Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator Secara Menyeluruh .....	47
4.5. Perbandingan Medan Listrik pada Isolator Load Break Switch pada Kondisi Normal dengan Kondisi Terkontaminasi Debu.....	48
4.5.1. Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator .....	49
4.5.2. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Pertama Isolator .....	50
4.5.3. Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator Secara Menyeluruh .....	51
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	54
DAFTAR PUSTAKA .....	55
RIWAYAT HIDUP.....	57

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Konstruksi Load Break Switch..... 7
<b>Gambar 2.2</b>	(1) Bahan Porselin, (2) Bahan Gelas, (3) Bahan Polimer ..... 9
<b>Gambar 2.3</b>	Pembentukan Sudut Kontak pada Isolator..... 10
<b>Gambar 3.1</b>	Elemen Segitiga pada Suatu Domain ..... 19
<b>Gambar 3.2</b>	Penggabungan Dua Elemen Segitiga..... 20
<b>Gambar 3.3</b>	Konstruksi Load Break Switch 27 kV ..... 21
<b>Gambar 3.4</b>	Pemodelan Load Break Switch..... 23
<b>Gambar 3.5</b>	Pemodelan Elemen Segitiga pada Isolator LBS ..... 24
<b>Gambar 3.6</b>	(a)Peletakan Kontaminan Butir Air Laut pada Tiap Sirip Isolator, (b)Sudut kontak $>90^0$ ..... 25
<b>Gambar 3.7</b>	Peletakan Kontaminan Debu pada Permukaan Isolator ..... 30
<b>Gambar 3.8</b>	Perbesaran Gambar Kontaminan Debu ..... 31
<b>Gambar 4.1</b>	Tegangan Kerja Load Break Switch..... 33
<b>Gambar 4.2</b>	Distribusi Potensial Listrik Load Break Switch ..... 34
<b>Gambar 4.3</b>	(a) Arah Persebaran Medan Listrik pada LBS, (b) Persebaran Medan Listrik ..... 35
<b>Gambar 4.4</b>	Pengaruh Pembentukan Sudut Kontak ..... 36
<b>Gambar 4.5</b>	Penarikan Garis pada Isolator Untuk Kurva ..... 37
<b>Gambar 4.6</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator LBS pada Kondisi Normal dan Kondisi Terkontaminasi Air Laut ..... 38
<b>Gambar 4.7</b>	(a) Perbesaran Jarak Kurva 4.6 pada Jarak x1, (b) pada jarak x2..... 39
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Pertama ..... 41
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kedua..... 42
<b>Gambar 4.10</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Ketiga..... 43
<b>Gambar 4.11</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keempat..... 44
<b>Gambar 4.12</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kelima ..... 45
<b>Gambar 4.13</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keenam ..... 46
<b>Gambar 4.14</b>	Penarikan Kurva Secara Menyeluruh pada Permukaan Isolator ..... 47
<b>Gambar 4.15</b>	Kurva Perbandingan Medan Listrik pada Seluruh Permukaan Isolator ..... 48

<b>Gambar 4.16</b>	Perbandingan Medan Listrik Kurva pada Permukaan Isolator .....	49
<b>Gambar 4.17</b>	Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Pertama Isolator. ....	50
<b>Gambar 4.18</b>	Penarikan Kurva Secara Menyeluruh pada Permukaan Isolator .....	51
<b>Gambar 4.19</b>	Kurva Perbandingan Medan Listrik Seluruh Permukaan Isolator .....	52

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b>	Tingkat Polusi Dilihat dari Aspek Lingkungan ..... 12
<b>Tabel 2.2</b>	Tingkat Polusi ESDD Berdasarkan Standart IEC 815 : 1986..... 13
<b>Tabel 2.3</b>	Nilai Faktor Koreksi berdasarkan IEC 507 : 1991 ..... 13
<b>Tabel 3.1</b>	Spesifikasi Load Break Switch..... 22
<b>Tabel 3.2</b>	Data Sheet Material Penyusun Load Break Switch..... 22
<b>Tabel 3.3</b>	Jumlah Elemen Segitiga yang Terbentuk untuk Setiap Parameter Simulasi..... 24



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian besar; pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Setelah pembangkitan tenaga listrik, untuk bisa sampai ke tingkat konsumen, diperlukan sistem transmisi dan distribusi. Setiap sistem terdiri dari peralatan-peralatan listrik yang mendukung kelangsungan masing-masing sistem tersebut. Agar semua aspek dapat berjalan dengan baik, peralatan-peralatan listrik harus bekerja pada performa terbaiknya.

Salah satu peralatan yang mengambil peran dalam distribusi tenaga listrik adalah *Load Break Switch* (LBS). Pada saluran Tegangan Menengah (TM), daya ditransmisikan melalui transformator distribusi ke LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*), LBS berfungsi untuk pengaman arus listriknya. LBS ditempatkan sebagai pembatas antar *section* dan berfungsi memutus beban listrik tanpa mengganggu kinerja penyulang lainnya. Operasi *switching* ini terjadi pada keadaan berbeban dan beroperasi pada tegangan tinggi [1], maka dari itu LBS dituntut memiliki sistem isolasi yang baik agar tidak membahayakan lingkungan disekitar LBS [2], yang mengharuskan LBS memiliki desain yang baik pula. Salah satu bagian yang tidak bisa lepas dari LBS adalah isolatornya. Fungsi dari isolator adalah sebagai pengisolir antara bagian yang bertegangan (kawat fasa) dengan bagian yang tidak bertegangan (*tower*) agar arus dan tegangan tidak mengalir pada *tower*. [2]

Pada aplikasinya, kinerja LBS sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni; bahan isolasi isolatornya, faktor lingkungan, serta usia isolator LBS tersebut. Bahan isolasi yang lazim digunakan adalah berbahan porselin, gelas, dan polimer. Beberapa tahun terakhir perkembangan isolator berbahan polimer pesat sebagai alternatif karena memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan isolator berbahan porselin dan gelas. Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh isolator berbahan polimer jika dibandingkan dengan isolator berbahan

keramik dan gelas antara lain adalah sifat mekanik yang lebih baik, keretakan dan kebocoran yang rendah, ketahanan terhadap busur listrik (*arc*) dan massa jenis yang rendah [3]. Faktor lingkungan berupa kontaminan-kontaminan asing juga dipercayai dapat mempengaruhi kemampuan dielektrik suatu isolator LBS. Jika di daerah industri, kontaminan yang umum ditemui adalah kontaminan jenis debu, berbeda dengan kontaminan yang ditemui di daerah pantai berupa air garam. Banyak sedikitnya kontaminan dan jenis kontaminan yang menempel diyakini akan mempengaruhi kondisi dan nilai medan listrik isolator LBS. Oleh dari itu diperlukan studi pengaruh kontaminan terhadap medan listrik pada isolator LBS.

Pada studi ini, akan dilakukan analisa dengan menggunakan *software* berbasis *Finite Element Method* (FEM) untuk menganalisa distribusi medan listrik terhadap isolator pada HUBBELL *Overhead Switch Gang Operated Type D6 27 kV*. Permasalahan pertama adalah pada saat isolator kondisi normal terhadap kondisi terkontaminan air garam. Permasalahan kedua, adalah pada saat isolator kondisi normal terhadap kondisi terkontaminan debu. Serta perbandingannya saat terkontaminan debu terhadap kondisi terkontaminan air garam.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai dan kondisi medan listrik pada tiap sirip isolator juga pada permukaan (pembungkus) isolator untuk kontaminan air laut serta perbandingan nilai dan medan listrik pada sirip pertama isolator dan permukaan isolator untuk kontaminan debu.

## **1.2 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan dalam pembahasan yang akan dilakukan, Studi ini dibagi menjadi lima bab.

Bab pertama merupakan pendahuluan yang meliputi pembahasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi dari penulisan.

Bab kedua membahas tentang landasan teori yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu karakteristik LBS, bagian-bagian LBS,

jenis-jenis bahan isolator, pembentukan sudut kontak, tingkat polutan, kontaminan air laut dan kontaminan debu.

Bab ketiga akan dibahas mengenai metodologi yang digunakan dalam pengerjaan studi ini. Meliputi, metode *Finite Element Method*, pemodelan LBS, pembentukan sudut kontak pada butir air yang menempel pada permukaan isolator *Load Break Switch*, perhitungan luas permukaan isolator, dan *Equivalent Salt Deposit Density*. Serta dilampirkan konstruksi dan spesifikasi serta material penyusun *Load Break Switch*.

Bab keempat akan memaparkan hasil simulasi dan menganalisis hasil tersebut, sehingga dapat diketahui karakteristik medan listrik pada isolator *Load Break Switch* dengan tipe HUBBELL D6-Switch 27 kV. Serta mengetahui pengaruh kontaminan air laut dan debu terhadap nilai medan listrik isolator.

Bab kelima berisi kesimpulan dari hasil simulasi HUBBELL *Overhead Switch Gang Operated Type D6 27 kV* dan saran.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **LOAD BREAK SWITCH DAN KONTAMINAN**

#### **2.1 Load Break Switch**

Beberapa *switch* berperan penting dalam hal isolasi listrik dari beberapa peralatan listrik. *Load Break Switch* (LBS) adalah salah satu dari *switch* tersebut yang mengambil peranan dalam jaringan tegangan menengah sistem distribusi. LBS adalah pemutus juga penyambung beban tiga fasa untuk penempatan *outdoor* pada tiang pancang (tower). Pemasangan LBS antara lain digunakan untuk penambahan dan pengurangan beban pada jaringan serta pemisahan jaringan secara manual pada saat jaringan terdapat gangguan. LBS pada aplikasinya juga biasa disebut *Air-Break Switch*.

Pada saluran Tegangan Menengah (TM), daya ditransmisikan melalui transformator distribusi ke LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*). LBS ditempatkan sebagai pembatas antar *section* dan berfungsi memutus beban listrik tanpa mengganggu kinerja penyulang lainnya. Operasi *switching* ini terjadi pada keadaan berbeban dan beroperasi pada tegangan tinggi, namun LBS tidak diperbolehkan membuka saat dilalui arus gangguan seperti halnya arus hubung singkat. Agar dapat dilalui arus gangguan LBS harus dilengkapi dengan *fuse*. Jadi setelah arus gangguan melewati *fuse* yang kemudian *fuse* tersebut akan lepas, lalu pemicu yang ada pada ujung *fuse* akan terlepas akibat putusnya *fuse* tersebut yang akan memicu sistem mekanis LBS baru LBS akan membuka. Pada operasinya, saat proses pembukaan LBS, harus dilakukan secepat mungkin dan bersamaan untuk menghindari bahaya lompatan tegangan.

Untuk pengoperasian LBS, dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Untuk pengoperasian LBS secara otomatis, LBS biasanya sudah dilengkapi dengan motor DC yang ditempatkan dalam panel kontrol yang diintegrasikan dengan LBS yang kemudian diintegrasikan dengan SCADA. Pada studi ini, digunakan LBS dengan merk HUBBELL Air-Switch type D6.

## 2.2 Karakteristik Load Break Switch

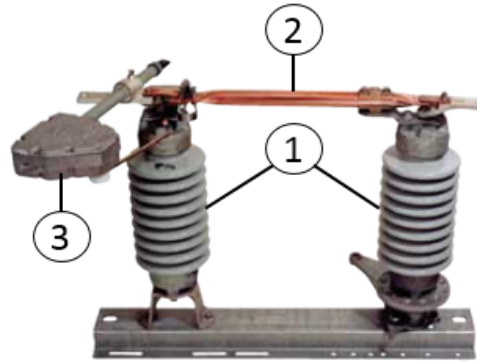
Berikut adalah karakteristik dari LBS:

1. Dapat digunakan sebagai pemisah maupun pemutus tenaga dengan beban nominal
2. Tidak dapat memutus jaringan dengan sendirinya saat terjadi gangguan pada jaringan
3. Dibuka dan ditutup hanya untuk memanipulasi beban

## 2.3 Konstruksi HUBBELL Air-Switch Type D6

Dapat dilihat konstruksi dari Hubbell Air-Switch Type D6 pada gambar 2.1. LBS terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu:

1. Isolator  
Bagian isolator yang terbuat dari material porselin berfungsi sebagai penopang pisau kontak dan mengisolasi potensial listrik dan medan listrik yang bekerja, sehingga tidak terhantar pada peralatan lain disekitar LBS dan *tower*.
2. Pisau Kontak (*Switch Blade*)  
Bagian dari LBS yang terbuat dari bahan tembaga ini yang berfungsi membuka dan menutup. Saat keadaan menutup adalah saat dimana arus listrik lewat dan bekerja secara normal. Saat keadaan membuka itulah dimana arus listrik diputus dan tidak mengalir.
3. Interrupter  
Bertugas sebagai peredam busur api yang ditimbulkan saat *switch blade* membuka dalam kondisi bertegangan. Interrupter diletakkan secara berkelompok dan digerakkan oleh mekanisme pegas yang dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis dengan motor DC.



**Gambar 2.1** Konstruksi Load Break Switch

## **2.4 Jenis-Jenis Bahan Isolator [3]**

Bahan penyusun sebuah isolator mempengaruhi kekuatan dielektrik dan mekanis isolator tersebut. Secara umum, bahan yang sering digunakan adalah porselin, gelas dan polimer.

### **2.4.1 Isolator Porselin**

Isolator porselin dibuat dari bahan campuran tanah porselin, kwarts, dan veld spaat, yang bagian luarnya dilapisi dengan bahan glazuur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Isolator porselin memiliki sifat tidak menghantar (*non conducting*) listrik yang tinggi, dan memiliki kekuatan mekanis yang besar.

Kekurangan dari bahan isolator ini adalah ukuran isolator porselin tidak dapat diperbesar, karena pada saat pembuatannya terjadi penyusutan bahan. Dari segi ekonomis, isolator ini lebih mahal dari pada jenis yang lain dikarenakan bahan materialnya. Maka dari itu, untuk menjaga keandalan dari isolator ini, dibuat rongga di dalamnya yang kemudian akan di isi dengan bahan besi atau baja tempaan sehingga kekuatan mekanis isolator porselin dapat bertambah.

### **2.4.2 Isolator Gelas**

Isolator gelas kebanyakan digunakan pada jaringan distribusi sekunder, dikarenakan Isolator gelas mudah mengembun, sehingga



kontaminan mudah melekat dipermukaan isolator tersebut. Hal ini mengakibatkan mudahnya terjadi *breakdown* dan arus bocor semakin besar. Isolator ini juga rentan terhadap perubahan temperatur, naik-turunnya temperatur secara drastis dapat menyebabkan keretakan pada permukaan isolator.

Keunggulan dari isolator ini adalah lebih ekonomis dari pada isolator porselin dan juga kerusakan pada isolator ini dapat mudah terdeteksi karena warna piringan yang transparan.

#### 2.4.3 Isolator Polimer

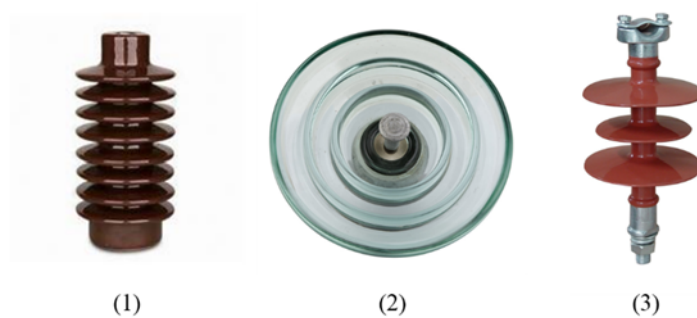
Isolator berbahan polimer mulai banyak di gunakan sebagai pengganti bahan porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator polimer memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan bahan porselin dan gelas.

Kelebihan isolator polimer antara lain :

1. Memiliki massa jenis yang lebih kecil dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
2. Sifat dielektrik dan termal yang lebih tinggi.
3. Memiliki energi tensi permukaan yang rendah sehingga memiliki sifat hydrofobik, sehingga menghasilkan kemampuan isolasi yang lebih baik dalam kondisi terpolusi dan basah.

Kekurangan dari isolator polimer adalah :

1. Kegagalan isolator sulit terdeteksi.
2. Rentan terhadap perubahan cuaca.
3. Bahan penyusun isolator polimer lebih mahal dari pada porselin dan gelas.



**Gambar 2.2** (1) Bahan Porselin, (2) Bahan Gelas, (3) Bahan Polimer

## 2.5 Pembentukan Sudut Kontak

Sudut kontak ( $\theta$ ) merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan isolator dengan air yang berada pada permukaan isolator. Besar sudut kontak yang terbentuk mempengaruhi sifat hidrofobik bahan isolator. Sifat hidrofobik merupakan suatu sifat menolak air dalam keadaan terpolusi.

Pembentukan sudut kontak pada permukaan isolator dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Tidak basah

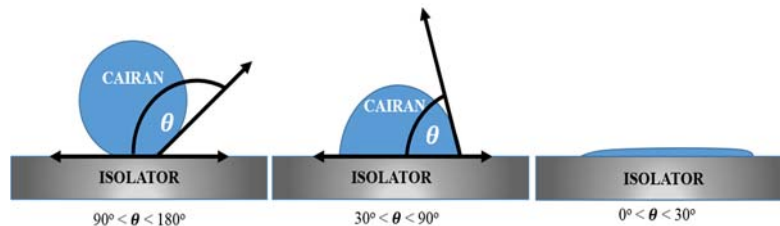
Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator pada interval 90 s/d 179 derajat.

2. Basah sebagian

Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator pada interval 30 s/d 89 derajat.

3. Tidak basah

Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator kurang dari 30 derajat.



**Gambar 2.3** Pembentukan sudut kontak pada permukaan isolator

## 2.6 Pembentukan Kontaminan Pada Isolator

Kontaminan yang bersifat konduktif maupun kontaminan yang bersifat lembab sebagian besar dibawa oleh angin ke permukaan isolator. Arah dan kecepatan angin sangat mempengaruhi pola pembentukan endapan isolator yang bentuknya tidak beraturan.

Medan listrik mempengaruhi pengumpulan partikel yang dibawa angin terutama pada bagian isolator yang mengalami *stress* tegangan

yang tinggi, misalnya disekitar *switch blade* LBS. Medan listrik akan mengikat partikel-partikel melalui proses polarisasi begitu menyentuh permukaan isolator, sehingga pengaruhnya terlihat jelas pada peralatan listrik yang memiliki isolator tegangan tinggi arus DC dengan polaritas sama.

Larutan asam lemah pada permukaan isolator di daerah industri dapat mengikis permukaan isolator sehingga menjadi tidak rata. Keadaan ini menyulitkan dalam pencucian isolator, yang kemudian akan menimbulkan pengumpulan kontaminan yang lebih banyak.

## **2.7 Isolator Terkontaminasi [7]**

Terbentuknya kontaminasi dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Polutan Laut  
Polutan garam yang terbawa oleh angin akan menempel dan mengotori permukaan isolator yang terpasang pada saluran udara di daerah pantai.
2. Polutan Darat  
Polutan debu dan asap dari pabrik industri yang terbawa angin dan menempel pada isolator akan terus bertambah disebabkan oleh faktor-faktor seperti suhu, tekanan, dan kelembaban udara yang menimbulkan lapisan konduktif pada permukaan isolator, yang dapat menyebabkan terjadinya flashover, sehingga dapat mengurangi kemampuan isolator, baik kemampuan mekanis maupun kemampuan elektrik. [3]

## **2.8 Pengaruh Kontaminan Terhadap Kinerja Isolator**

Kontaminan pada isolator dapat menimbulkan arus bocor pada permukaan isolator, arus bocor ini akan bertambah besar jika udara lembab atau pada saat hujan gerimis. [7] Apabila polutan ini dibiarkan, maka jalur konduktif pada permukaan isolator yang terbentuk akan semakin tinggi nilai konduktivitasnya, yang menyebabkan adanya arus bocor bahkan dapat terjadi tegangan lewat denyar / flashover. [3]

## 2.9 Sifat Kontaminan

Kontaminan yang dapat mempengaruhi tahanan permukaan suatu isolator dibagi dalam dua jenis, yaitu kontaminan yang bersifat konduktif dan kontaminan yang bersifat lembam (*inert*)

### 2.9.1 Kontaminan yang Bersifat Konduktif

Kontaminan yang bersifat konduktif yaitu kontaminan yang mampu menghantarkan arus listrik. Terdiri dari garam-garam yang mampu terurai menjadi ion-ion misalnya NaCl, MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan sebagainya. Dalam suatu larutan garam-garam tersebut akan membentuk suatu lapisan konduktif pada permukaan isolator.

Adanya polusi garam ini mempengaruhi terjadinya tahanan permukaan pada isolator. Garam yang sukar larut lebih kecil pengaruhnya pada terjadinya tahanan permukaan dibandingkan dengan garam yang mudah larut. Beberapa komponen konduktif pada daerah industri dapat larut membentuk larutan asam yang bersifat konduktif, misalnya gas SO<sub>2</sub>, yang dapat membentuk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### 2.9.2 Kontaminan yang Bersifat Lembam (*Inert*)

Kontaminan yang bersifat lembam merupakan bagian dari zat padat yang tidak dapat terurai menjadi ion-ion dalam larutan, namun komponen ini dapat menyebabkan ketahanan permukaan isolator. Zat-zat seperti SiO<sub>2</sub>, tanah liat (kaolin) dapat membentuk suatu ikatan mekanis untuk mengikat komponen-komponen konduktif. Ikatan mekanis yang terbentuk akan mempersulit proses pencucian isolator. Perbedaan tingkat pengotoran antara permukaan atas dengan permukaan bawah akan terlihat pada isolator yang banyak mengandung komponen yang bersifat lembam.

Kontaminan lembam terbagi menjadi dua sifat, yakni, *hydrophilic* dan *hydrophobic*. Komponen *hydrophilic* dapat meningkatkan tingkat kebasahan permukaan isolator karena kemampuannya menyerap air, contohnya, tanah liat dan semen. Sedangkan komponen *hydrophobic* menurunkan tingkat kebasahan isolator, karena sifat kedap air, contohnya lemak dan oli, yang menyebabkan air tidak dapat menempel

pada permukaan isolator sehingga lapisan konduktif yang terbentuk tidak kontinyu. Penyebab terbesar dari terbentuknya tahanan permukaan adalah kontaminan yang bersifat konduktif. Konduktifitas kontaminan per satuan luas dapat dinyatakan dengan Kepadatan Endapan Garam (KEG) atau *Equivalent Salt Deposit Density* (ESDD).

## 2.10 Tingkat Polusi

Berdasarkan standar IEC 815, bobot polusi pada isolator ditetapkan menjadi empat, yaitu; ringan, sedang, berat dan sangat berat. Pada umumnya, metode yang digunakan untuk menentukan tingkat polusi adalah metode ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*) dan metode tinjauan lapangan. Penentuan tingkat polusi isolator berdasarkan metode tinjauan lapangan ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Tingkat Polusi Dilihat dari Aspek Lingkungan Berdasarkan IEC 815

Tingkat Polusi	Contoh Lingkungan
Ringan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daerah dengan sedikit industri dan rumah penduduk dengan sarana pembakaran rendah.</li> <li>2. Daerah pertanian dan pegunungan (Penggunaan pupuk dapat meningkatkan bobot polusi) ( Daerah- daerah diatas terletak 10 km atau lebih dari laut dan angin laut tidak berhembus atau terpapar langsung)</li> </ol>
Sedang	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daerah industri yang tidak menghasilkan polusi gas.</li> <li>2. Daerah industri atau pemukiman yang tingkat memiliki tingkat curah hujan tinggi.</li> <li>3. Daerah yang tidak terlalu dekat dengan pantai.</li> </ol>
Berat	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daerah industri dan perkotaan dengan sarana pembakaran tinggi.</li> <li>2. Daerah dekat dengan laut dan terpapar angin laut secara langsung.</li> </ol>
Sangat Berat	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daerah pantai dan terkena air laut</li> <li>2. Daerah gurun atau padang pasir.</li> </ol>

ESDD merupakan kepadatan timbunan garam *equivalent* (*Equivalent Salt Deposit Density*) dari larutan pengotor yang menempel pada permukaan isolator.

Penentuan tingkat polusi isolator pada metode ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*) berdasarkan standart IEC 815 ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Tingkat Polusi ESDD berdasarkan standart IEC 815 : 1986

Tingkat Polusi	ESDD Maksimum (mg/cm <sup>3</sup> )	Jarak Rambat (mm/kV)
Ringan	0.03 - 0.06	16
Sedang	0.01 - 0.2	20
Berat	0.3 - 0.6	25
Sangat Berat	> 0.80	> 30

Faktor koreksi  $b$  pada suhu antara 5 – 30°C yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan IEC 507 : 1991

**Tabel 2.3** Nilai Faktor Koreksi berdasarkan IEC 507 : 1991

$\theta$ (°C)	$b$
5	0.03156
10	0.02817
20	0.02277
30	0.01905

Untuk nilai  $\theta$  yang lain pada suhu 5 – 30°C dapat dicari dengan interpolasi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III

### METODE DAN SIMULASI LOAD BREAK SWITCH

#### 3.1 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Dalam simulasi distribusi medan listrik pada isolator LBS berbahan porselin menggunakan CST Studio Suite, basis metode yang digunakan adalah Metode Elemen Hingga atau FEM (*Finite Element Method*). Prinsip dasar dari metode elemen hingga adalah proses diskretisasi. Dalam proses diskretisasi, suatu benda atau daerah yang dianalisis dibagi kedalam bentuk mesh (kumpulan elemen) yang saling terhubung, dan kemudian dimodelkan kedalam bentuk satu, dua atau tiga dimensi.

Analisis penyelesaian FEM dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Analisis struktur  
Analisis struktur digunakan untuk menganalisis tegangan pada struktur rangka, getaran, *buckling*.
2. Analisis non-struktur.  
Analisis non-struktur digunakan untuk menganalisis kejadian transfer panas, aliran fluida, distribusi dari potensial medan magnet dan medan listrik.

Dalam tugas akhir ini analisis yang digunakan untuk mensimulasikan distribusi medan listrik pada isolator *Load Break Switch* berbahan porselin adalah analisis non-struktur.

#### 3.2 Perhitungan Medan Listrik pada Isolator

Medan listrik adalah daerah yang masih dipengaruhi sifat kelistrikan dari suatu muatan. Perubahan nilai medan listrik pada isolator dapat mempengaruhi nilai arus bocor (*leakage current*) dan tegangan tembus (*Breakdown*). Medan listrik dapat muncul karena adanya gaya (F) yang bertumpu pada suatu muatan listrik.

$$F_t = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_t}{R_{1t}^2} \mathbf{a}_{1t} \quad (3.1)$$

Bila gaya tersebut bertumpu pada suatu muatan, maka :

$$\frac{F_t}{q_t} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_{1t}^2} \mathbf{a}_{1t} \quad (3.2)$$



Sehingga,

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \mathbf{a}_{1t} \quad (3.3)$$

Apabila diketahui nilai potensial listrik (V), maka medan listrik juga dapat dihitung melalui gradiennya :

$$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x} \mathbf{a}_x + \frac{\partial V}{\partial y} \mathbf{a}_y + \frac{\partial V}{\partial z} \mathbf{a}_z \quad (3.4)$$

Sehingga didapatkan nilai E :

$$E = -\nabla V \quad (3.5)$$

### 3.2.1 Energi Pada Medan Listrik

Pada distribusi medan listrik terdapat muatan energi ( $W_E$ ) yang tersimpan, energi tersebut dapat dihitung menggunakan rumus :

$$W_E = \frac{1}{2} \int_{Vol} \rho_v V dv \quad (3.6)$$

Persamaan diatas merupakan perhitungan energi potensial total pada suatu muatan titik atau bidang.

Keterangan :

$\rho_v$  = Kerapatan volume dengan medan potensial (C/m<sup>3</sup>)

V = Potensial Listrik pada titik

Total energi ( $W_E$ ) pada medan potensial dalam suatu volume adalah :

$$W_E = \frac{1}{2} \int_V \epsilon (\nabla V)^2 dv \quad (3.7)$$

### 3.3 Perhitungan Medan Dengan Metode Elemen Hingga

Nilai potensial listrik (V) juga berhubungan erat dengan kerapatan fluks listrik (D). Dengan menggunakan persamaan Maxwell, dapat diketahui hubungan nilai potensial listrik dengan kerapatan fluks.

$$\nabla \cdot D = \rho_v \quad (3.8)$$

Hubungan D dan E,

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad (3.9)$$

Bila polarisasi dianggap nol, diperoleh persamaan,

$$\nabla \cdot \nabla V = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \quad (3.10)$$

Keterangan :

E = Intensitas Medan Listrik (V/m)

V = Potensial Listrik (V)

D = Kerapatan Fluks Listrik (C/m<sup>2</sup>)

Gradien potensial pada persamaan *Poisson* 3.8 dapat diuraikan menjadi persamaan berikut :

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \mathbf{a}_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \mathbf{a}_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \mathbf{a}_z = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \quad (3.11)$$

Bila  $\rho_v$  sama dengan nol, dengan kondisi muatan titik dan kerapatan muatan permukaan digunakan sebagai kondisi batas dan sumber medan, maka :

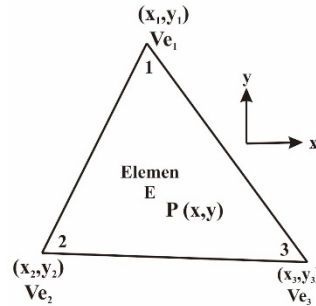
$$\nabla \cdot \nabla V = 0 \quad (3.12)$$

Persamaan 3.12 merupakan persamaan *laplace*. Dan bila dirumuskan dalam koordinat cartesius, maka bentuk persamaan *laplace* adalah :

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \mathbf{a}_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \mathbf{a}_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \mathbf{a}_z = 0 \quad (3.13)$$

### 3.4 Perhitungan Elemen Segitiga

Dalam menyelesaikan perhitungan distribusi medan listrik menggunakan metode elemen hingga, LBS dibagi kedalam bentuk elemen segitiga seperti pada gambar 3.1. Dengan memperkirakan potensial listrik ( $V$ ) pada tiap elemen segitiga, maka akan diketahui nilai distribusi medan pada isolator. Nilai potensial listrik terletak pada titik yang terdapat pada tiap sudut segitiga. Setelah nilai potensial listrik pada setiap elemen segitiga diketahui. Lalu tiap elemen segitiga dihubungkan dengan segitiga yang lain dengan bentuk dan dimensi yang berbeda. Sehingga akan didapatkan nilai potensial listrik pada tiap-tiap titik pada isolator.



**Gambar 3.1** Elemen segitiga pada suatu domain

Fungsi  $V$  pada titik  $P(x, y)$  pada elemen segitiga diaplikasikan dalam bentuk persamaan linier :

$$V = a + bx + cy \quad (3.14)$$

Karena  $i$ ,  $i1$  dan  $i2$  adalah permutasi dari 1, 2, dan 3, maka didapatkan persamaan :

$$V = \sum_{i=1}^3 Vi \alpha_i (x, y) \quad (3.15)$$

Energi yang berada pada tiap sudut sebuah segitiga dengan gradien potensial listrik dapat dirumuskan menjadi :

$$W_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r \int |\nabla V|^2 ds \quad (3.16)$$

Sehingga nilai energinya menjadi :

$$W_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 V_i \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j ds V_j \quad (3.17)$$

Dengan  $S_{i,j}$  merupakan matriks pada sebuah elemen segitiga :

$$S_{i,j} = \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j ds \quad (3.18)$$

Persamaan 3.5 dapat ditulis sebagai metriks kuadrat dalam bentuk energi :

$$W_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r V^t S V \quad (3.19)$$

Keterangan :

$W_E$  = Energi pada medan elektrostatik

$\varepsilon_r$  = Permittivitas relatif

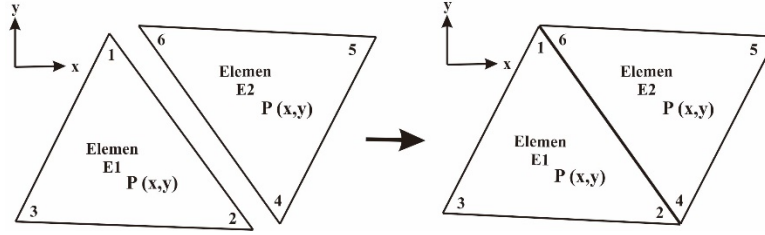
$\varepsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa =  $8,854 \times 10^{-12}$

$V$  = Matriks dari potensial listrik pada titik  $V_{e1}$ ,  $V_{e2}$ , dan  $V_{e3}$

$T$  = Transpose matriks  $V$

### 3.4.1 Penyatuan Elemen Segitiga

Setelah LBS didiskretisasi menjadi bentuk elemen segitiga, maka dapat dilakukan perhitungan potensial listrik pada seluruh bagian isolator dengan menggabungkan tiap-tiap elemen segitiga menjadi satu dimensi yang utuh seperti pada gambar 3.2. Dari nilai potensial listrik pada setiap penggabungan elemen segitiga, dapat diketahui nilai medan listrik (E), kerapatan fluks (D) dan energi (W) pada isolator LBS.



**Gambar 3.2** Penggabungan dua elemen segitiga

Energi pada elemen yang saling terhubung adalah :

$$W = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r V_{con}^T S V_{con} \quad (3.20)$$

Dengan

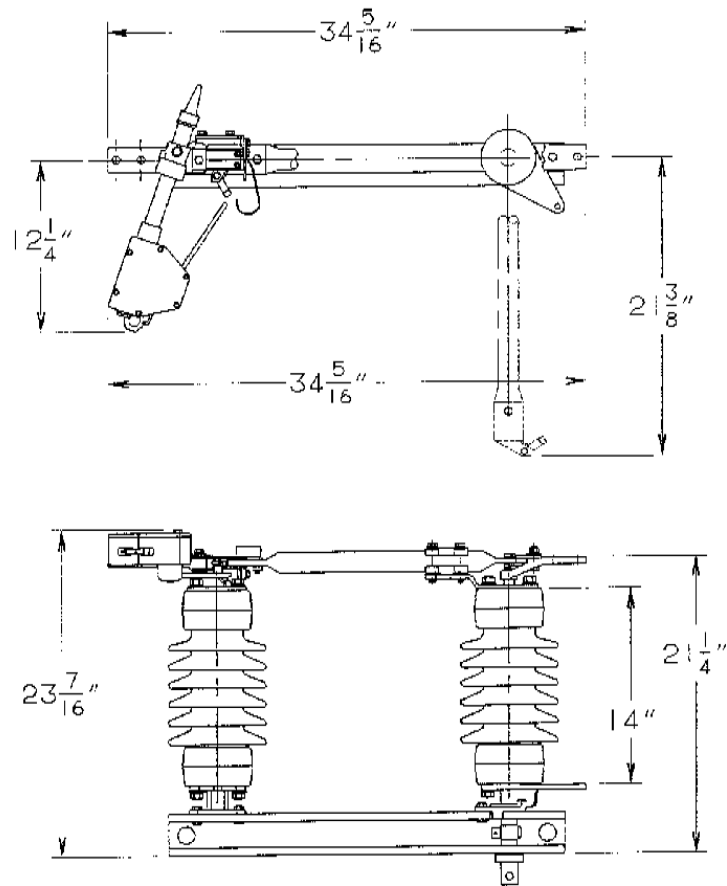
$$S = C^T S_{dis} C \quad (3.21)$$

Persamaan 3.21 merupakan matriks koefisien dari segitiga yang saling terhubung. Matriks koefisien dari penggabungan dua element segitiga seperti pada gambar 3.2 adalah :

$$S = \begin{bmatrix} S_{11}^{(1)} + S_{66}^{(2)} & S_{12}^{(1)} + S_{64}^{(2)} & S_{13}^{(1)} & S_{65}^{(2)} \\ S_{21}^{(1)} + S_{46}^{(2)} & S_{22}^{(1)} + S_{44}^{(2)} & S_{23}^{(1)} & S_{45}^{(2)} \\ S_{31}^{(1)} & S_{32}^{(1)} & S_{33}^{(1)} & 0 \\ S_{56}^{(1)} & S_{54}^{(1)} & 0 & S_{55}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

### 3.5 Kontruksi dan Spesifikasi Load Break Switch

Dalam tugas akhir ini, akan disimulasikan *Load Break Switch* “Hubbell Type D6 Switches” dengan rating tegangan nominal 27 kV, *continuous-current rating* 600 A, *momentary rating* 40.000 A, sesuai standart NEMA dan ANSI. Konstruksi LBS yang disimulasikan ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3.3** Konstruksi Load Break Switch 27 kV

LBS yang disimulasikan adalah Hubbell *type D6 Switches*, dengan enam sirip isolator sebagai media penyebaran medan. Untuk spesifikasi LBS ditunjukkan pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Load Break Switch

Specification	UNIT	
Voltage Class	kV	35
Section Length "L"	(in)	(34,3125)
Section Height "H"	(in)	(21,25)
Continuous-Current rating	A	600
Momentary Rating	A	40.000
Three-second Short-time Current Rating	A	25.000
LIW	V	150.000

### 3.6 Material Penyusun Load Break Switch

Material atau bahan isolator yang digunakan pada simulasi berdasarkan pada data *library* CST Studio Suite.

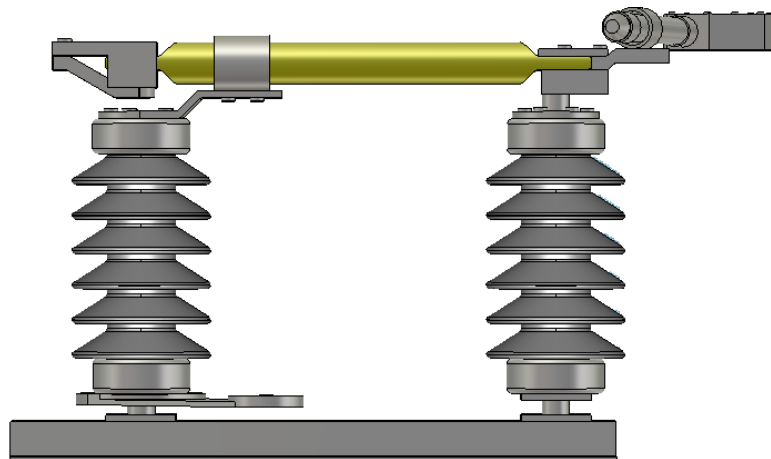
**Tabel 3.2** Data sheet material penyusun Load Break Switch

No	Unit	Material	
		Copper (Annealed)	SEE-Steel
1	Epsilon	1	4
2	Mue	1	1
3	El. Conductivity	$5.8 \times 10^7$	$6.993 \times 10^6$
4	Rho	1400	7870
5	Therm. Conductivity	401	65.2
6	Heat Cap.	0.39	0.45

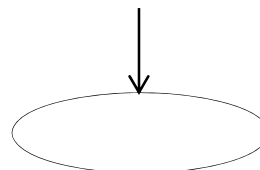
No	Unit	Material	
		Copper (Annealed)	SEE-Steel
7	Diffusivity	$11,5141 \times 10^5$	$1,84 \times 10^5$
8	Young's Mod.	120	205
9	Poiss.Ratio	0.33	0.29
10	Thermal Exp.	17	13.5
11	Density	8930.0	7870

### 3.7 Pemodelan Load Break Switch

LBS dimodelkan menggunakan software CST Studio Suite dalam bentuk 3 dimensi dapat dilihat seperti pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Pemodelan Elemen Segitiga Load Break Switch



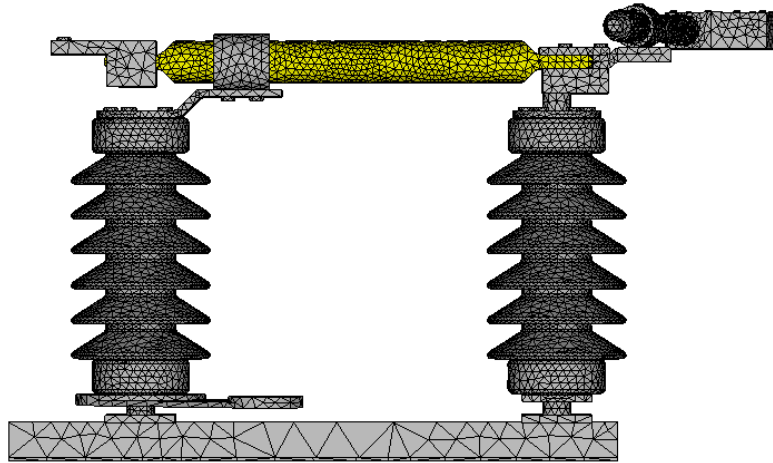


### 3.8 Pemodelan Load Break Switch Kedalam Bentuk Elemen Segitiga

Untuk menghitung nilai distribusi medan listrik pada seluruh bagian LBS, LBS dimodelkan kedalam bentuk elemen segitiga (*Tetrahedral Mesh*) seperti pada gambar 3.5. Untuk tiap parameter yang disimulasikan, jumlah elemen segitiga yang terbentuk tidak sama. Pada tabel 3.3 menunjukkan jumlah elemen segitiga pada tiap parameter yang disimulasikan.

**Tabel 3.3** Jumlah elemen segitiga yang terbentuk untuk setiap parameter simulasi

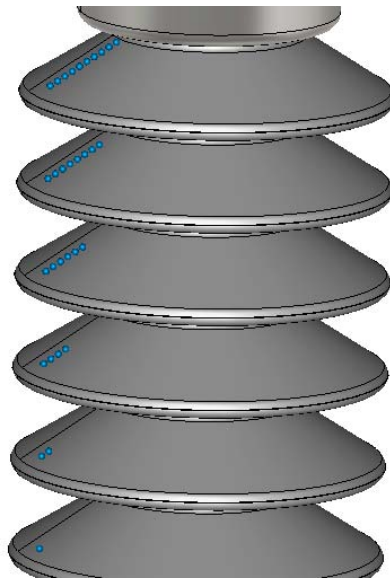
Bahan Isolator	Parameter	Element Segitiga
Porselin	Normal	291.007
	Butir Air Laut	288.196
	Debu	634.769



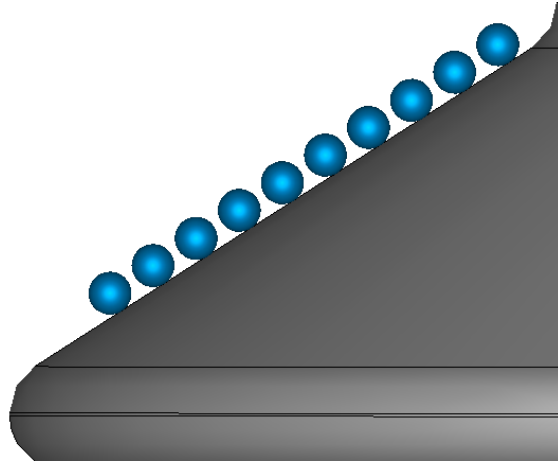
**Gambar 3.5** Pemodelan elemen segitiga pada LBS

### 3.9 Simulasi Pembentukan Sudut Kontak

Pemodelan yang dilakukan di CST Studio Suite dilakukan untuk seluruh bagian LBS, namun analisa persebaran medan listrik difokuskan hanya pada bagian isolator yang dekat dekat sumber potensial listrik. Sudut kotak pada butiran air yang mengenai permukaan isolator berpengaruh pada kemampuan dielektrik isolator untuk menahan kuat medan listrik yang mengenainya. Untuk melihat pengaruh besar sudut kotak butir air terhadap medan listrik, akan dilakukan simulasi sifat hydrofobik pada sirip pertama isolator LBS dengan menggunakan air laut sebagai kontaminan. Kondisi yang akan digunakan pada simulasi adalah dengan  $> 90^\circ$  sudut kontak butir air laut. Pada gambar 3.6 dapat dilihat posisi peletakan kontaminan pada masing-masing sirip isolator.



(a)



(b)

**Gambar 3.6** (a) Peletakan kontaminan butir air laut pada tiap sirip isolator,  
(b) Sudut kontak  $>90^\circ$

### 3.10 Kontaminasi Air Laut Pada Permukaan Isolator

Perhitungan ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) diperlukan untuk mengetahui tingkat polutan yang menempel pada permukaan isolator.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b(\theta - 20)] \quad (3.24)$$

Keterangan :

$\sigma_{\theta}$  = Konduktifitas pada Suhu  $\theta$

$\sigma_{20}$  = Konduktifitas pada Suhu  $20^\circ\text{C}$

$b$  = Faktor Koreksi pada Suhu  $\theta$  (IEC 507)

$\theta$  = Suhu Larutan

Setelah konduktifitas pada suhu  $20^\circ\text{C}$  didapatkan, salinasi ( $S_a$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$S_a = (5.7 \times \sigma_{20})^{1.03} \quad (3.25)$$

Dari persamaan 3.25, maka nilai ESDD dapat diketahui :

$$ESDD = \frac{S_a \times V}{A} \quad (3.26)$$

Keterangan :

V = Volume air (ml)

A = Luas Isolator yang dikenai kontaminan (cm<sup>2</sup>)

S<sub>a</sub> = Salinasi garam (ppt)

### 3.10.1 Perhitungan Luas Permukaan Isolator

Perhitungan luas permukaan isolator dapat menggunakan persamaan garis kurva sebagai berikut :

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (3.27)$$

Koordinat kurva yang digunakan adalah (0,r) dan (h,R)

$$\frac{y - r}{R - r} = \frac{x - 0}{h - 0} \quad (3.28)$$

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$y = x \left( \frac{R - r}{h} \right) + r \quad (3.29)$$

Rusuk kurva dapat diketahui menggunakan persamaan :

$$s = \sqrt{(R - r)^2 + h^2} \quad (3.30)$$

Untuk mengetahui luasan dari kurva yang mengelilingi sumbu x adalah :

$$A = 2\pi \int_a^b \sqrt{1 + \left( \frac{R - r}{h} \right)^2} dx \quad (3.31)$$

Jika persamaan 3.29 dimasukkan pada persamaan 3.31, maka :

$$\begin{aligned}
 A &= 2\pi \int x \left( \frac{R-r}{h} \right) + r \sqrt{1 + \left( \frac{R-r}{h} \right)^2} dx \\
 A &= 2\pi \sqrt{\frac{h^2 + (R-r)^2}{h^2}} \int_0^h x \left( \frac{R-r}{h} \right) + r. dx \\
 A &= 2\pi \frac{1}{h} \sqrt{h^2 + (R-r)^2} \int_0^h x \left( \frac{R-r}{h} \right) + r. dx \\
 A &= \frac{2\pi}{h} s \left[ \frac{R-r}{2h} x^2 + xr \right]_0^h \\
 A &= \frac{2\pi}{h} s \left[ \frac{(R-r)}{2h} h^2 + hr \right] - \left[ \frac{(R-r)}{2h} 0 + 0r \right] \\
 A &= \pi s (R + r) \tag{3.32}
 \end{aligned}$$

Bila diketahui nilai jari-jari dalam ( $r$ ), jari-jari luar ( $R$ ) dan tebal isolator ( $h$ ). Maka nilai  $s$  :

$$r = 2.55 \text{ cm}$$

$$R = 5.05 \text{ cm}$$

$$h = 11.15 \text{ cm}$$

$$s = \sqrt{(5.05 - 2.55)^2 + 11.15^2}$$

$$s = 11.426 \text{ cm}^2$$

Dengan menggunakan persamaan 3.32. maka nilai  $A$  :

$$A = \pi \cdot 11.426 (5.05 + 2.55)$$

$$A = 272.828 \text{ cm}^2$$

### 3.10.2 Perhitungan ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*)

Dari data material air garam pada *library* CST Studio Suite, diketahui nilai konduktifitas elektrik  $\sigma_{25} = 3.53$  S/m. Untuk menghitung nilai konduktifitas elektrik pada suhu 20°C ( $\sigma_{20}$ ) (IEC 507), maka nilai faktor koreksi  $b$  dapat dihitung menggunakan interpolasi :

$$y = y_0 + (y_1 - y_0) \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \quad (3.33)$$

Bila koordinat yang digunakan adalah  $(b, \theta_{25})$ ,  $(b_{20}, \theta_{20})$  dan  $(b_{30}, \theta_{30})$  maka :

$$b = b_{20} + (b_{30} - b_{20}) \frac{\theta_{25} - \theta_{20}}{\theta_{30} - \theta_{20}}$$

$$b = 0.0227 + (0.01905 \times 0.02277) \times \frac{25 - 20}{30 - 20}$$

$$b = 0.02091$$

Dengan menggunakan persamaan 3.24, maka nilai konduktifitas pada suhu 20°C ( $\sigma_{20}$ ) adalah :

$$\sigma_{20} = 3.53 \times [1 - 0.02091(25 - 20)]$$

$$\sigma_{20} = 3.161 \text{ S/cm}$$

Setelah diketahui nilai  $S_a$  dan  $b$ , maka salinasi polutan garam  $S_a$  dapat dihitung dengan persamaan 3.25 :

$$S_a = (5.7 \times 3.161)^{1.03}$$

$$S_a = 19.65 \text{ ppt}$$

Setelah mengetahui seluruh parameter, maka Nilai ESDD yaitu :

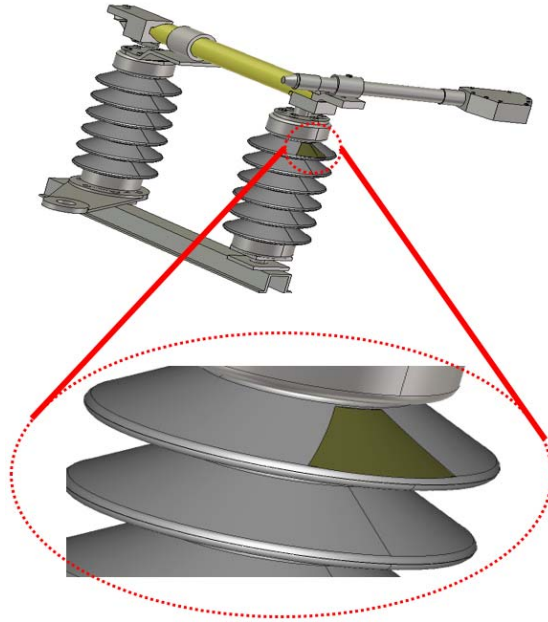
$$ESDD = \frac{19.65}{272.828}$$

$$ESDD = 0.072023 \text{ mg/cm}^2$$

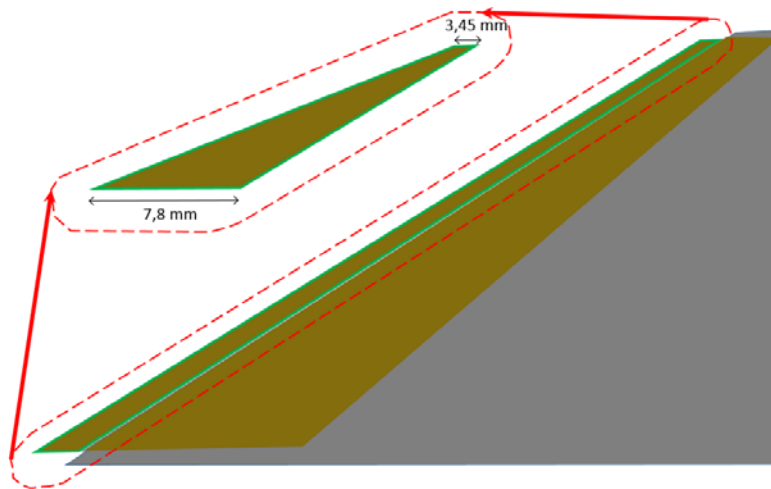
### 3.11 Kontaminasi Debu Pada Permukaan Isolator

Pada aplikasinya di lapangan, seperti di kota-kota besar, PLTU, dan pabrik semen, tingkat kontaminan debu sangat tinggi. Tebal tipisnya kontaminan debu pada permukaan isolator, maka nilai medan listrik yang mengenai isolator tersebut akan berubah.

Pada simulasi ini akan dimodelkan adanya kontaminan debu pada permukaan sirip pertama isolator. Sehingga dapat di analisis pengaruh kontaminan debu terhadap kondisi medan listrik pada permukaan isolator, sirip pertama, dan permukaan isolator secara menyeluruh.



**Gambar 3.7** Peletakan kontaminan debu pada permukaan isolator.



**Gambar 3.8** Perbesaran gambar kontaminan debu



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

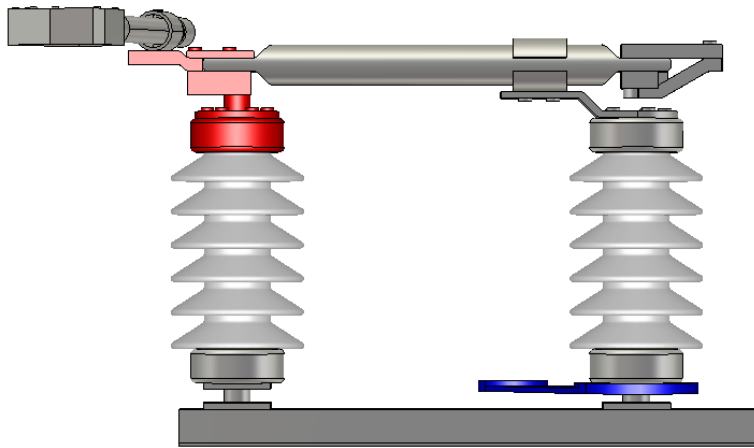
### HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA

Isi dari bab ini adalah pemaparan hasil simulasi berikut analisisnya. Hal ini dilakukan dengan tujuan mengetahui perbandingan nilai distribusi medan listrik pada tiap model sesuai batasan masalah yang ada.

#### 4.1 Tegangan Kerja Load Break Switch

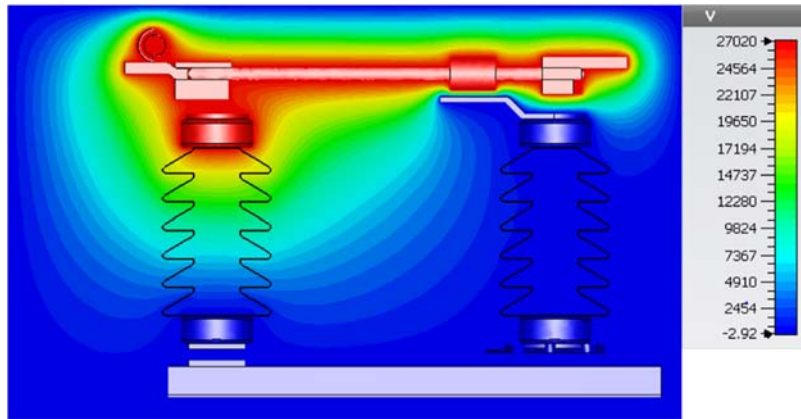
Tegangan yang bekerja pada *Load Break Switch* sesuai dengan tegangan nominal *Load Break Switch*, yaitu 27 kV.

Warna merah pada Load Break Switch pada gambar 4.1 menunjukkan 27 kV tegangan yang diberikan, sedangkan pada warna biru adalah *grounding* LBS tersebut.



**Gambar 4.1** Tegangan kerja *Load Break Switch*

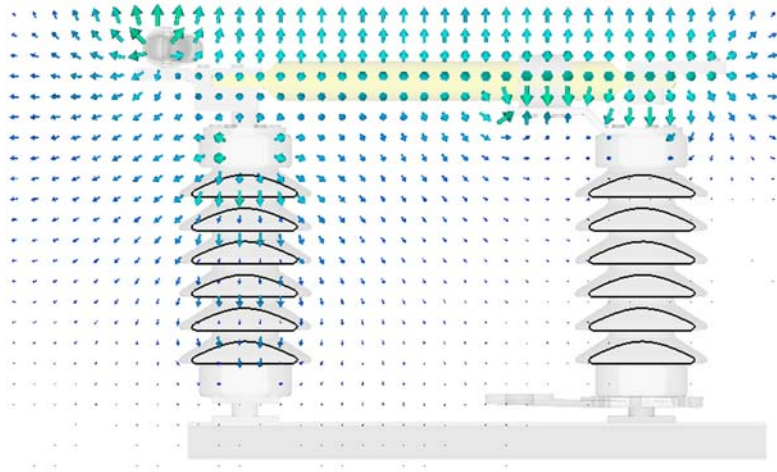
Pada gambar 4.2, warna merah menunjukkan tegangan nominal 27 kV mengalir penuh pada konduktor yang bersentuhan dengan kawat fasa, *interrupter*, juga *switch blade* LBS. sedangkan pada bagian isolator, warna mulai berubah dari merah menjadi kuning, hijau, biru muda kemudian menjadi biru tua. Ini menunjukkan isolator menjalankan tugasnya sebagai fungsi isolasi.



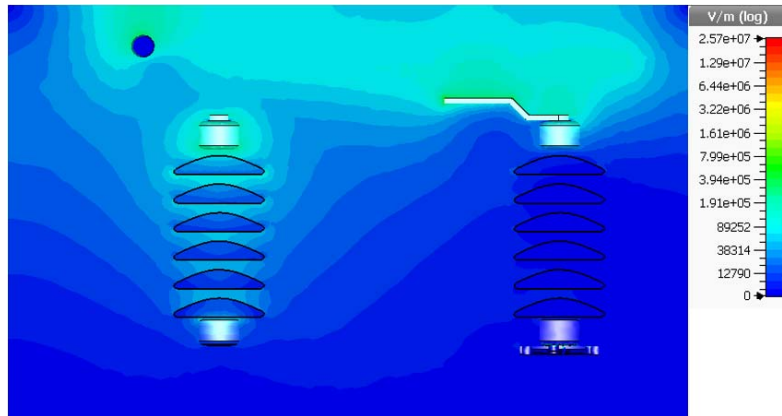
**Gambar 4.2** Distribusi potensial listrik *Load Break Switch*

#### 4.2 Arah Distribusi Medan Listrik *Load Break Switch*

Arah persebaran medan listrik mengalami penyebaran ke segala arah terutama pada bagian konduktor yang diberikan tegangan, *interrupter*, dan juga *switch blade* LBS. Besar kecilnya medan dapat dilihat dari besar kecilnya ukuran panah-panah pada gambar 4.3. Nilai medan listrik terbesar  $23.01 \times 10^6$  V/m pada konduktor yang diberi potensial dan nilai terkecil  $2.09 \times 10^6$  V/m pada *grounding*.



(a)

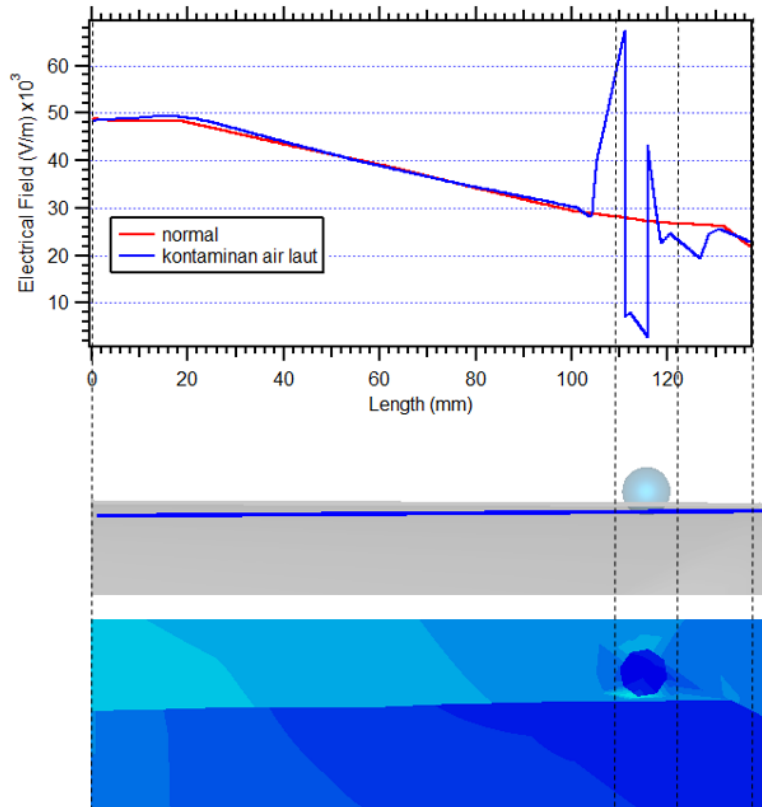


(b)

**Gambar 4.3** (a) Arah persebaran medan listrik pada LBS, (b) Persebaran medan listrik

### 4.3 Pembentukan Sudut Kontak

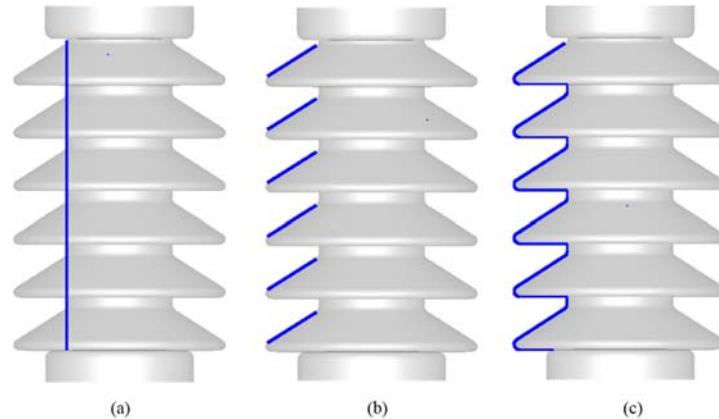
Sudut kontak menyebabkan proses *charging* pada titik kontaknya dengan permukaan isolator, sehingga nilai medan listrik mula-mula turun dan saat *discharging* nilai medan menjadi melonjak tinggi [2]. Medan listrik tertinggi terlihat pada tepian butiran kontaminan. Hadirnya kontaminan pada permukaan isolator, menurunkan sifat dielektris isolator dan membentuk lapisan konduktif, sehingga medan listrik menjadi tidak seragam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4 untuk pengaruh butiran air dengan sudut kontak  $> 90^\circ$  terhadap medan listrik pada sirip pertama isolator.



**Gambar 4.4** Pengaruh pembentukan sudut kontak

#### 4.4 Perbandingan Medan Listrik pada Isolator Load Break Switch pada Kondisi Normal dengan Kondisi Terkontaminasi Air Laut

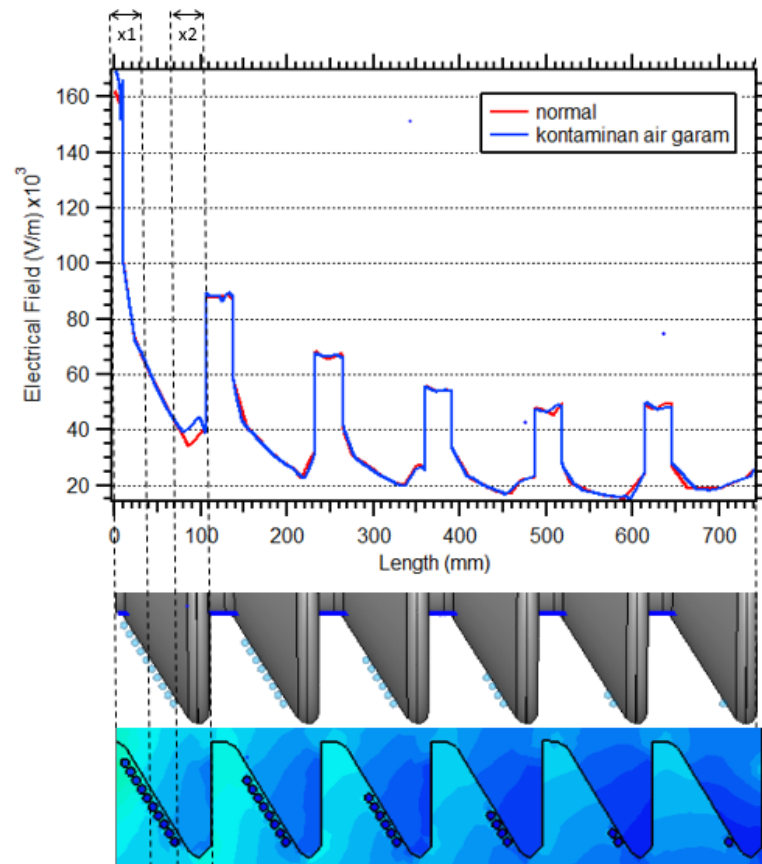
Pada subbab ini akan dilakukan pengamatan serta analisa medan listrik pada bagian LBS, lebih tepatnya pada bagian isolator. Akan dilakukan perbandingan saat kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi. Analisa pada akan difokuskan pada (a) permukaan isolator, (b) antar sirip isolator, serta (c) permukaan isolator secara menyeluruh. Dengan jenis kontaminan yang diberikan yaitu air laut.



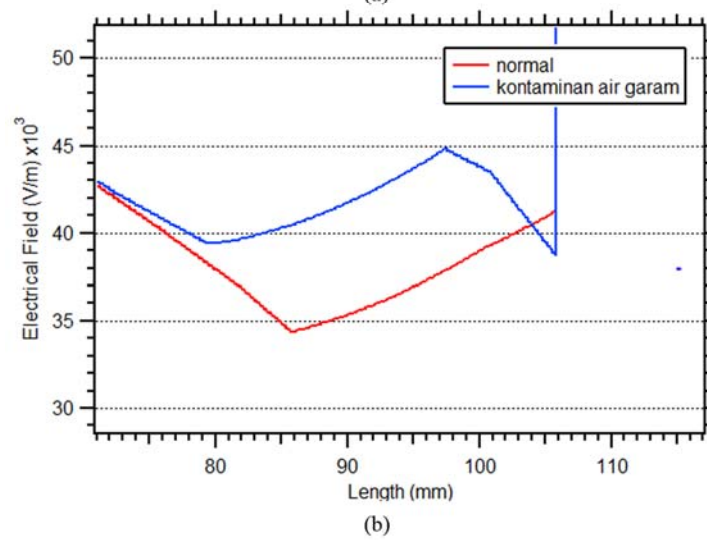
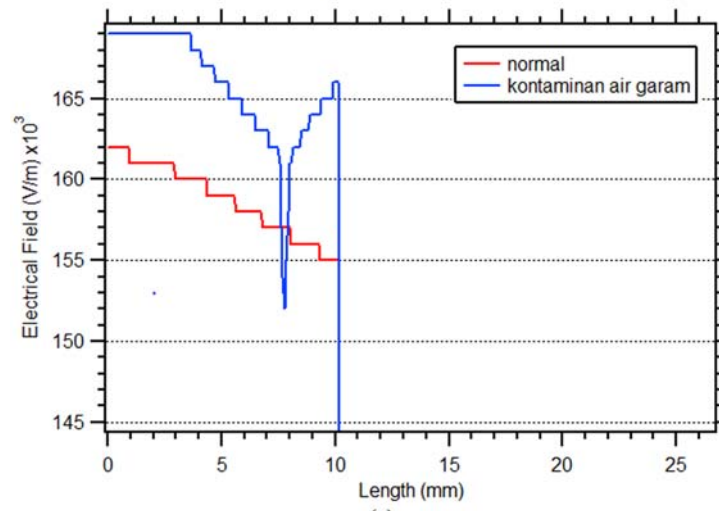
**Gambar 4.5** Penarikan garis pada isolator untuk kurva

##### 4.4.1 Perbandingan Medan Listrik Pada Permukaan Isolator

Perbandingan medan listrik pada permukaan isolator *Load Break Switch* dapat dilihat pada gambar 4.6. terlihat bahwa medan listrik awal (pada jarak x1) pada isolator yang terkena kontaminan lebih tinggi dari pada kondisi saat normal. Pada kondisi terkontaminasi adalah sebesar  $169 \times 10^3$  V/m, sedangkan pada saat kondisi normal hanya sebesar  $162 \times 10^3$  V/m. Lonjakan medan listrik juga terlihat cukup besar pada sirip pertama isolator (jarak x2) yang memiliki kontaminan terbanyak, yaitu pada jarak 70-110 mm dengan besar  $45 \times 10^3$  V/m, bila dibandingkan dengan kondisi normal yaitu  $34 \times 10^3$ . Pada kedua kondisi terlihat semakin ke kanan nilai medan listrik semakin menurun ini disebabkan fungsi isolasi dari isolator tersebut dan nilai paling kecil terlihat pada ujung garis bagian bawah (sirip keenam), yaitu  $15 \times 10^3$  V/m.



**Gambar 4.6** Perbandingan medan listrik pada permukaan isolator LBS pada kondisi normal dan kondisi terkontaminasi air laut



**Gambar 4.7** (a) Perbesaran jarak kurva 4.6 pada jarak x1, (b) pada jarak x2

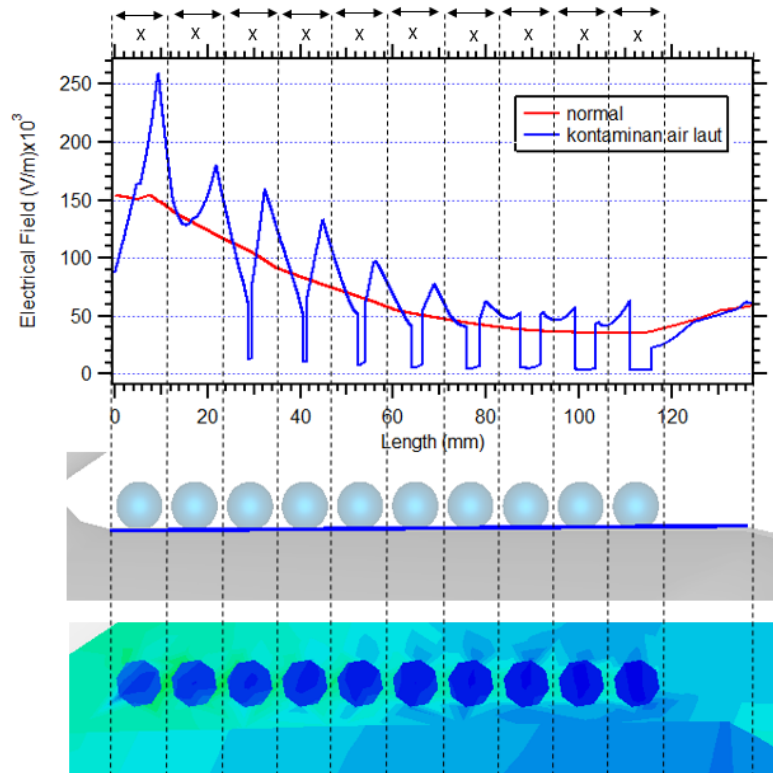


#### **4.4.2 Perbandingan Medan Listrik Antar Sirip Isolator**

Isolator *Load Break Switch* memiliki enam sirip. Kontaminan berupa air laut dengan sudut kontak  $> 90^\circ$  diposisikan pada masing-masing sirip isolator yang jumlahnya semakin kebawah semakin sedikit. Perbandingan dan analisa medan listrik akan dilakukan pada masing-masing sirip isolator.

##### **4.4.2.1 Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Pertama Isolator**

Pada sirip pertama isolator terdapat kontaminan tertinggi bila dibandingkan dengan sirip lainnya, kondisi medan pada sirip pertama sangat fluktuatif bila dibandingkan dengan kondisi medan listrik pada kondisi normal. Terdapat kenaikan medan listrik pada sirip pertama. Pada kondisi normal medan listrik tertinggi adalah pada nilai  $154 \times 10^3$  V/m sedangkan medan listrik tertinggi saat kondisi terkontaminan adalah pada nilai  $266 \times 10^3$  V/m. Dapat dilihat pada kurva 4.8 bahwa pada jarak  $x$ , medan listrik mengalami perubahan bila dibandingkan dengan kondisi normal. Dimulai dari kondisi medan listrik pada isolator yang terkena kontaminan pada awalnya menurun, kemudian naik lagi. Hal ini disebabkan pembentukan sudut kontak antara kontaminan dan permukaan sirip isolator. Kenaikan medan listrik tertinggi terjadi pada butir air yang paling pertama, hal ini disebabkan semakin dekatnya dengan sumber potensial listrik.

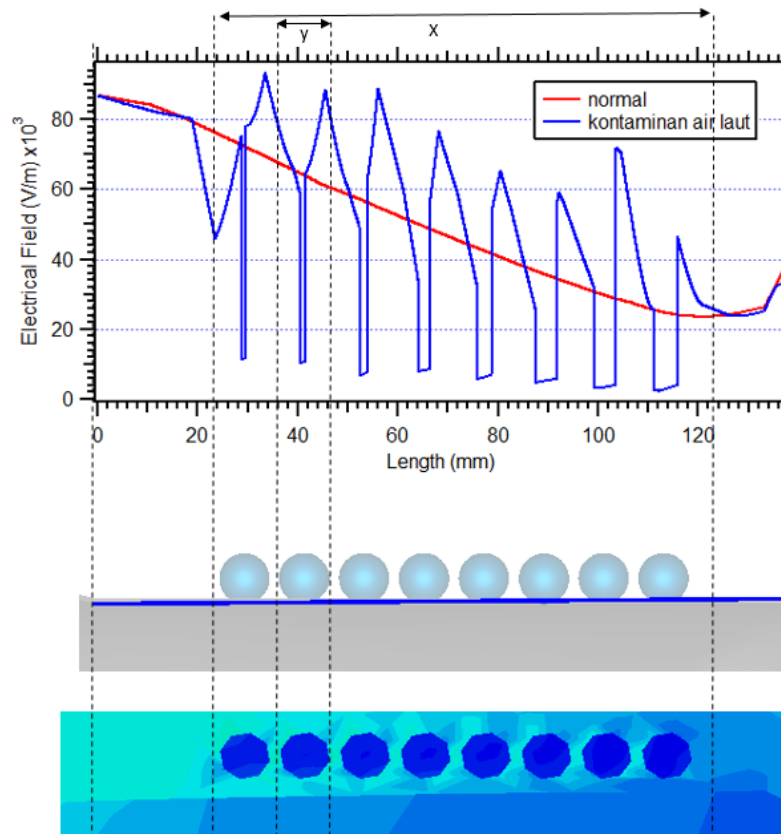


**Gambar 4.8** Perbandingan medan listrik pada sirip pertama

#### 4.4.2.2 Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kedua Isolator

Jumlah kontaminan pada sirip kedua lebih sedikit jika dibandingkan dengan sirip pertama isolator *Load Break Switch*. Terlihat pada lonjakan medan listrik pada kondisi ini tidak sebanyak dari medan listrik pada sirip pertama. Pada gambar 4.9, terlihat pada kurva, bahwa medan listrik pada sirip kedua isolator saat kondisi terkontaminasi air laut yang berwarna biru mulai berubah di titik 18 mm, lalu pada rongga jeda antara kontaminan medan listrik turun, dan pada titik 30 mm, medan listrik mulai naik lagi dikarenakan pengaruh kontaminan pada jarak  $y$ . Begitu seterusnya, hingga pada akhir  $x$ , medan listrik menanjak naik lagi, mendekati medan listrik pada keadaan normal. Nilai medan listrik tertinggi pada kondisi normal

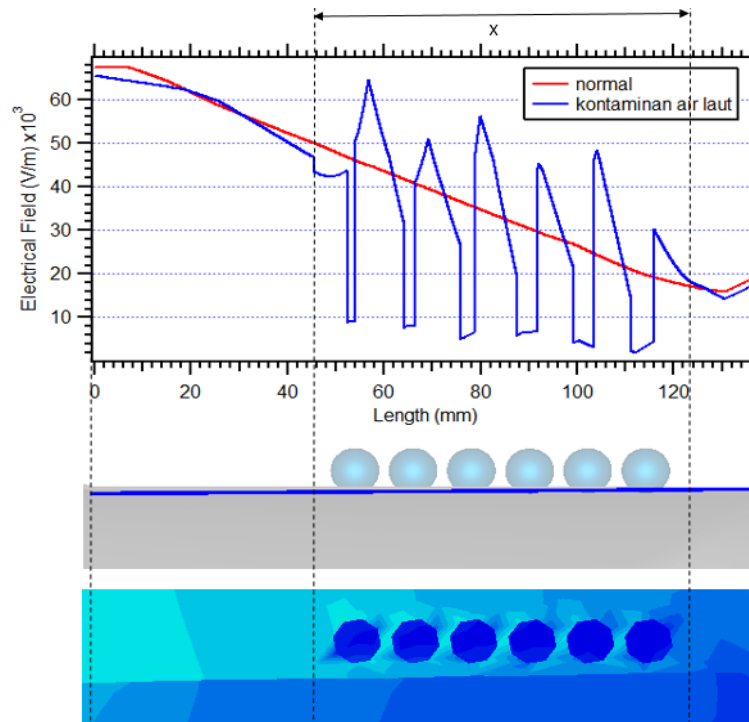
$86,8 \times 10^3$ , namun pada kondisi terkontaminan air laut naik sampai  $93,3 \times 10^3$ .



**Gambar 4.9** Perbandingan medan listrik pada sirip kedua

#### 4.4.2.3 Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Ketiga Isolator

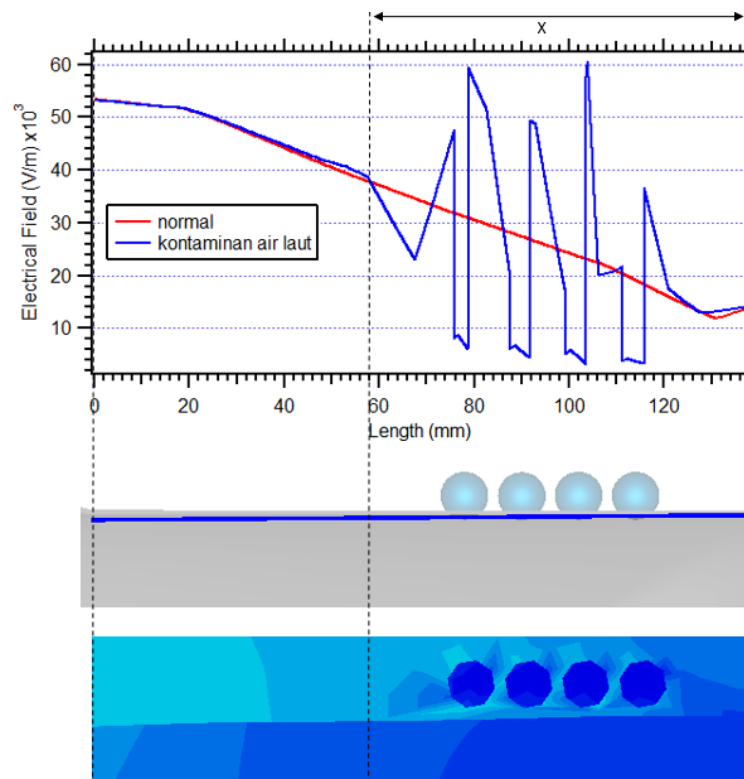
Perbandingan medan listrik antara kondisi normal dan kondisi terkontaminasi pada sirip isolator keempat dapat dilihat pada gambar 4.10. Jumlah kontaminan pada sirip ini lebih sedikit jika dibandingkan dengan kontaminan pada sirip sebelumnya. Hampir sama seperti kondisi medan listrik pada sirip sebelumnya, saat kondisi terkontaminasi, perubahan mulai terjadi di jarak 46 mm (awal x). Pada sirip ini, naik turunnya medan berakhir di jarak 124 mm (akhir x), dimana medan listrik kondisi kontaminan mulai menurun dan mendekati medan listrik kondisi normal. Medan listrik pada saat kondisi normal tertinggi dan terendah berturut-turut adalah sebesar  $67,5 \times 10^3$  V/m dan  $16 \times 10^3$  V/m. untuk kondisi terkontaminan medan tertinggi pada  $65,4 \times 10^3$  V/m dan terendah pada  $2,07 \times 10^3$  V/m.



**Gambar 4.10** Perbandingan medan listrik pada sirip ketiga

#### 4.4.2.4 Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keempat Isolator

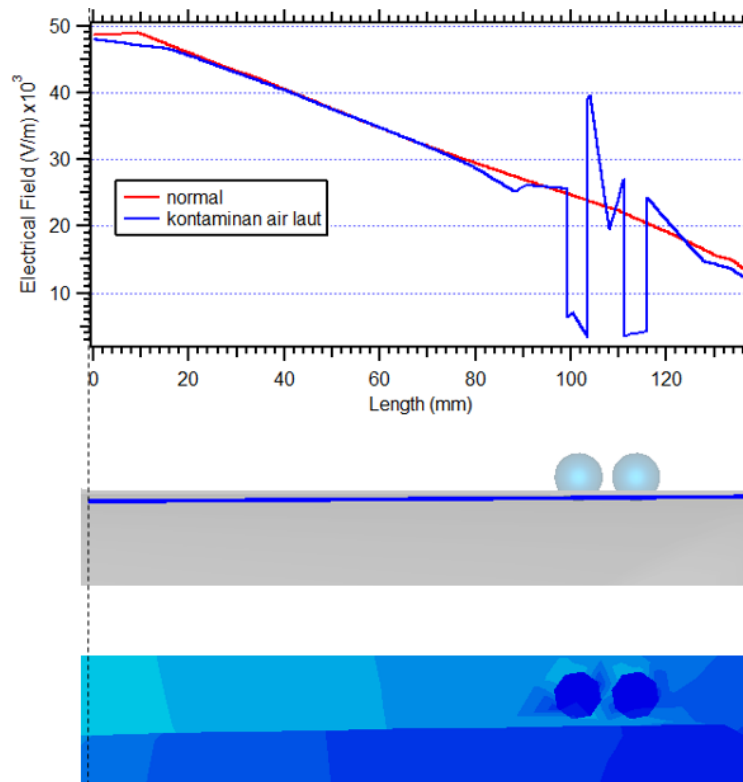
Dilihat dari kurva yang terdapat pada gambar 4.11, perbedaan antara kurva normal dan terkontaminasi terlihat jelas pada jarak  $x$ , dimana pada  $x$ , medan listrik kondisi terkontaminasi mengalami perubahan yang fluktuatif. Perubahan mulai terlihat di awal  $x$ , lalu medan listrik mengalami kondisi naik turun, kemudian di akhir  $x$  (120 – 137 mm), medan listrik kembali turun dan mendekati medan listrik pada kondisi normal. Medan listrik pada saat kondisi normal tertinggi dan terendah berturut-turut adalah sebesar  $53,4 \times 10^3$  V/m dan  $11,9 \times 10^3$  V/m. untuk kondisi terkontaminasi medan tertinggi pada  $60,5 \times 10^3$  V/m dan terendah pada  $3,26 \times 10^3$  V/m.



**Gambar 4.11** Perbandingan medan listrik pada sirip keempat

#### 4.4.2.5 Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kelima Isolator

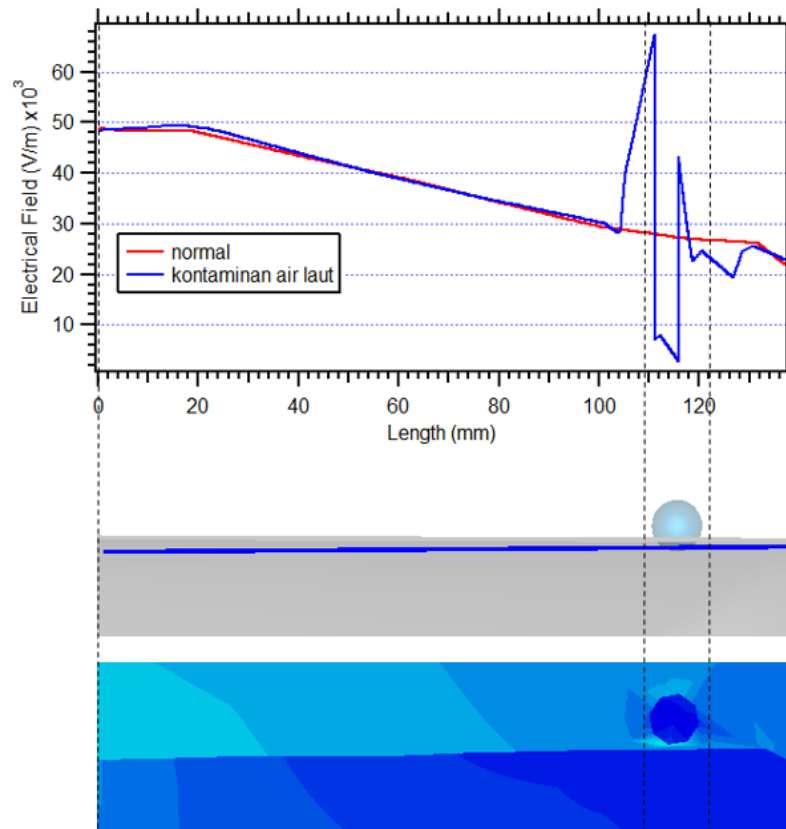
Gambar 4.12 mendeskripsikan perbandingan medan listrik antara medan listrik kondisi normal dengan kondisi kontaminasi air laut pada sirip kelima isolator *Load Break Switch*. Kontaminasi pada sirip ini jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan sirip empat. Pada titik 90 mm sudah mulai mengalami perubahan pada sirip isolator yang terkontaminasi, kemudian anjlok pada titik 108 mm sampai 3,4 V/m dikarenakan pengaruh pembentukan sudut butir air laut, lalu pada titik 104 mm medan listrik naik lagi pada rongga udara sampai  $40 \times 10^3$  V/m, dan turun lagi pada titik 112 mm sampai 3,4 V/m dikarenakan pembentukan sudut kontak butir air laut. Kemudian di ujung butir air laut yang kedua kurva turun dan mendekati kurva pada kondisi normal.



**Gambar 4.12** Perbandingan medan listrik pada sirip kelima

#### 4.4.2.6 Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keenam Isolator

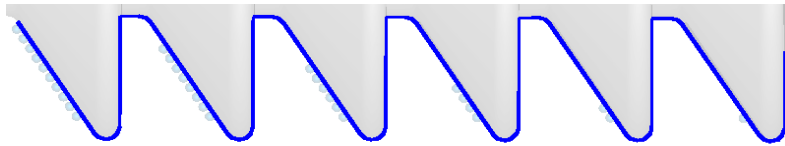
Perbandingan medan listrik pada sirip keenam isolator *Load Break Switch* saat kondisi sirip normal dan kondisi sirip terkontaminasi dapat dilihat pada gambar 4.13. Pada sirip keenam ini, jumlah kontaminan paling sedikit dibandingkan dengan sirip-sirip isolator lainnya. Lonjakan medan listrik tertinggi diakibatkan oleh butir kontaminan kedua, sebesar 16,7 V/m kemudian turun sampai 3,42 V/m. Setelah melewati butir air laut, medan terus menurun kemudian naik dan mendekati medan listrik keadaan normal.



**Gambar 4.13** Perbandingan medan listrik pada sirip keenam

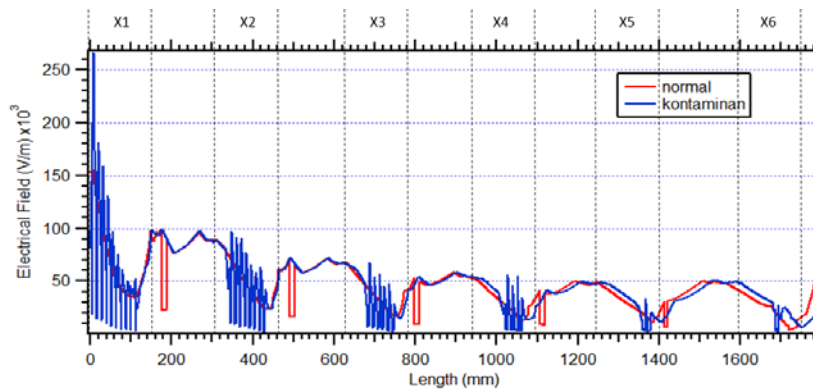
#### 4.4.3 Perbandingan Medan Listrik Pada Permukaan Isolator Secara Menyeluruh

Penarikan garis kurva pada CST Studio Suite di permukaan isolator *Load Break Switch* secara menyeluruh dapat dilihat pada gambar 4.14. Untuk perbandingan medan listrik antara kondisi normal dan terkontaminasi butir air laut dapat dilihat pada gambar 4.15. Pada jarak x1, x2, x3, x4, x5, x6 terlihat perbedaan medan listrik yang signifikan antara kurva isolator yang terkontaminasi air laut dengan kurva pada kondisi normal. Hal ini disebabkan oleh adanya kontaminan berupa butiran air laut pada tiap sirip isolator. Pengaruh kontaminan pada medan listrik paling terlihat pada sirip pertama, dimana terdapat kontaminan tertinggi dibandingkan dengan sirip lainnya. Pada sirip pertama, lonjakan medan listrik mencapai  $266 \times 10^3 \text{ V/m}$  dan berada di titik terbawahnya yaitu  $3,3 \times 10^3 \text{ V/m}$ . Nilai tertinggi medan listrik berturut-turut dari sirip kedua, ketiga, keempat, kelima, dan keenam adalah  $93,3 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $67,4 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $55,9 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $33,3 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $27 \times 10^3 \text{ V/m}$  dan nilai terendah medan listrik berturut-turut dari sirip kedua, ketiga, keempat, kelima, dan keenam adalah  $2,4 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $2 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $2 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $2,3 \times 10^3 \text{ V/m}$ , dan  $2,3 \times 10^3 \text{ V/m}$ .



**Gambar 4.14** Penarikan kurva secara menyeluruh pada permukaan isolator





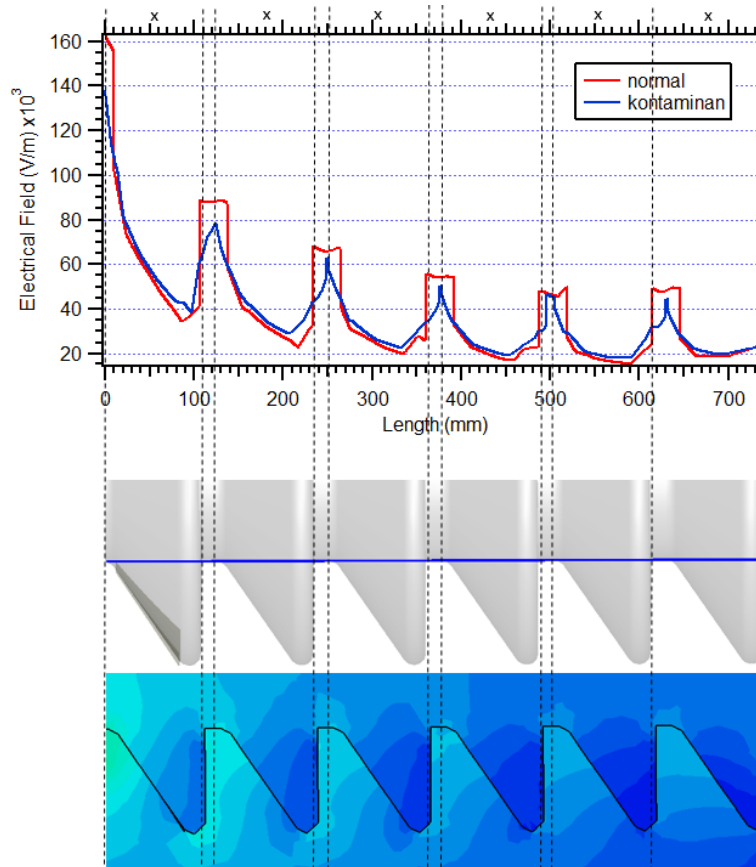
**Gambar 4.15** Kurva perbandingan medan listrik pada seluruh permukaan isolator

#### 4.5 Perbandingan Medan Listrik pada Isolator Load Break Switch pada Kondisi Normal dengan Kondisi Terkontaminasi Debu

Debu adalah kontaminan yang dapat ditemui di mana saja. Di aplikasinya, seperti di kota-kota besar, pabrik semen, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tingkat kontaminan debu sangat tinggi. Pada subbab ini akan dilakukan pengamatan serta analisa medan listrik pada bagian LBS, lebih tepatnya pada bagian isolator. Akan dilakukan perbandingan saat kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi. Analisa akan difokuskan pada (a) permukaan isolator, (b) sirip pertama, dan (c) permukaan isolator secara menyeluruh.

#### 4.5.1 Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator

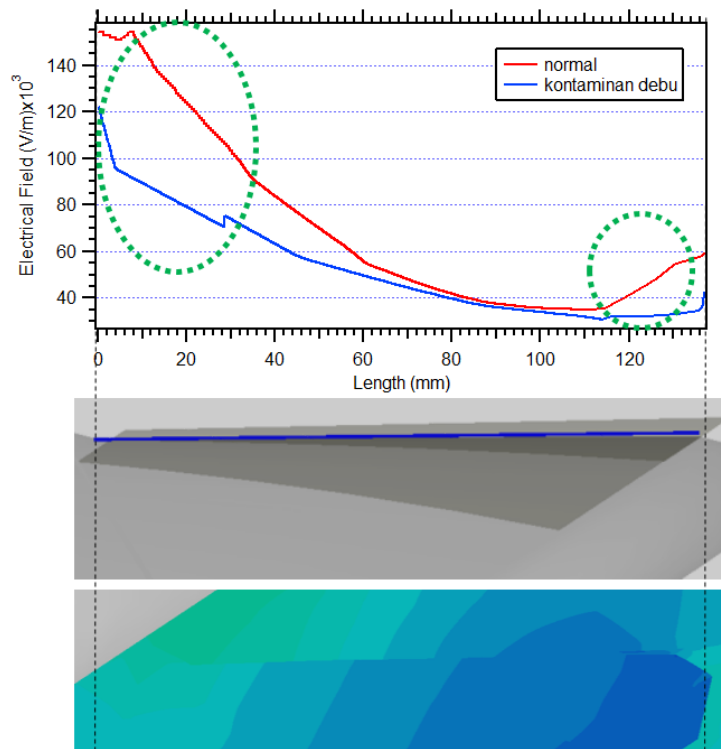
Pada gambar 4.16, dapat dilihat perbandingan medan listrik pada permukaan isolator antara kondisi normal terhadap kondisi terkontaminasi debu. Saat kondisi normal, nilai medan awal ada pada nilai  $162 \times 10^3$  V/m sedangkan pada kondisi terkontaminasi debu, nilai medan ada pada nilai  $138 \times 10^3$  V/m. Rata-rata medan listrik antara kondisi normal adalah  $37,9 \times 10^3$  V/m dan terkontaminasi adalah  $36,5 \times 10^3$  V/m, sehingga selisih diantara keduanya adalah sebesar  $1,41 \times 10^3$  V/m.



**Gambar 4.16** Perbandingan medan listrik kurva pada permukaan isolator

#### 4.5.2 Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Pertama Isolator

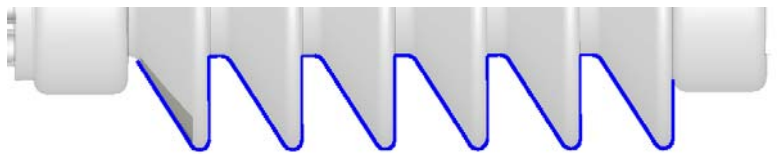
Perbandingan medan listrik antara kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi debu dapat dilihat pada gambar 4.17. Terjadi perbedaan nilai medan listrik antara kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi. Nilai medan awal pada kondisi normal sebesar  $59,3 \times 10^3$  V/m, sedangkan pada kondisi terkontaminasi debu adalah sebesar  $43,2 \times 10^3$  V/m. Perbedaan terlihat jelas pada bagian yang ditandai dengan lingkaran dengan titik-titik hijau, dimana pada bagian tersebut terjadi perubahan medan listrik pada kondisi terkontaminasi dibandingkan kondisi normal. Pada lingkaran yang lebih kecil perbedaan terjadi sebesar  $16,1 \times 10^3$  V/m dan pada lingkaran yang besar terjadi perbedaan sebesar  $62 \times 10^3$  V/m, perbedaan yang jauh ini disebabkan karena pada daerah dengan lingkaran yang lebih besar lebih dekat dengan potensial listrik.



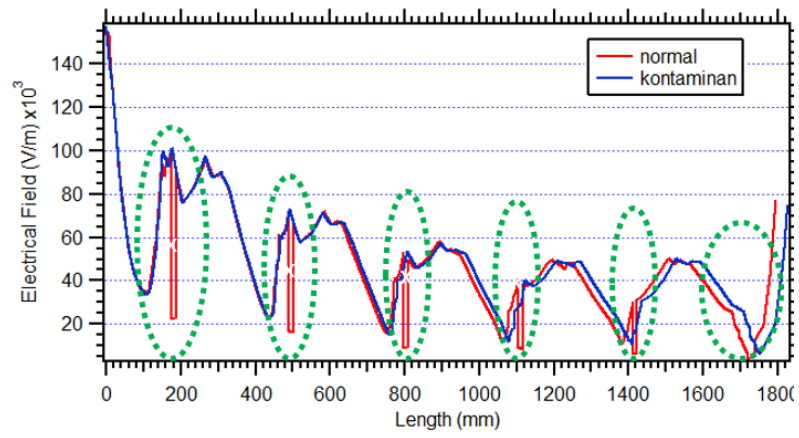
**Gambar. 4.17** Perbandingan medan listrik pada sirip pertama isolator

#### 4.5.3 Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator Secara Menyeluruh

Penarikan garis kurva pada CST Studio Suite di permukaan isolator *Load Break Switch* secara menyeluruh dapat dilihat pada gambar 4.18. Untuk perbandingan medan listrik antara kondisi normal dengan terkontaminasi debu dapat dilihat pada gambar 4.19. Pada bagian yang dilingkari titik-titik hijau, terlihat perbedaan medan listrik yang signifikan antara kondisi normal dan terkontaminasi. Bagian ini adalah bagian bawah sirip isolator LBS. Dimana pada kondisi normal, bagian ini seharusnya memiliki medan listrik yang kecil, namun pada kondisi terkontaminasi medan listrik terus meningkat. Perbedaan pada bagian ini berturut-turut dari sirip pertama sampai sirip keenam adalah  $78,7 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $57,2 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $44,4 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $40,3 \times 10^3 \text{ V/m}$ ,  $24,7 \times 10^3 \text{ V/m}$ , dan  $14,85 \times 10^3 \text{ V/m}$ . Perbedaan tertinggi ada pada bagian bawah sirip pertama dikarenakan adanya kontaminasi debu.



**Gambar 4.18** Penarikan kurva secara menyeluruh pada permukaan isolator



**Gambar 4.19** Kurva perbandingan medan listrik pada seluruh permukaan isolator

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi dan analisa data, dapat diambil beberapa kesimpulan dari distribusi medan listrik pada isolator *Load Break Switch* bahan porselin adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan perbandingan medan listrik pada permukaan isolator LBS pada kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi air laut, dapat disimpulkan bahwa:
  - a. Pada permukaan isolator, medan listrik tertinggi pada kondisi terkontaminan lebih tinggi yaitu sebesar  $169 \times 10^3$  V/m sedangkan pada kondisi normal hanya berada pada nilai  $162 \times 10^3$  V/m. Hal ini disebabkan oleh pengaruh peletakan kontaminan butiran-butiran air laut pada sirip-sirip isolator.
  - b. Pada sirip-sirip isolator, medan listrik tertinggi ada pada sirip pertama isolator pada nilai  $266 \times 10^3$  V/m sedangkan pada kondisi normal hanya berada pada nilai  $154 \times 10^3$  V/m. Hal ini dikarenakan kontaminan tertinggi ada pada sirip pertama isolator.
  - c. Pada permukaan isolator secara menyeluruh, lonjakan medan listrik tertinggi terdapat pada jarak X1 sebesar  $116 \times 10^3$  V/m yang disebabkan oleh kontaminan tertinggi ada pada jarak tersebut.
2. Berdasarkan perbandingan medan listrik pada permukaan isolator LBS pada kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi debu, dapat disimpulkan bahwa:
  - a. Pada permukaan isolator, medan listrik tertinggi pada kondisi terkontaminan lebih rendah yaitu sebesar  $138 \times 10^3$  V/m, sedangkan pada kondisi normal nilai berada pada  $162 \times 10^3$  V/m.
  - b. Pada sirip pertama isolator, nilai medan listrik awal pada kondisi terkontaminan lebih rendah yaitu sebesar  $43,2 \times 10^3$  V/m, sedangkan pada kondisi normal medan listrik berada pada nilai  $59,3 \times 10^3$  V/m.
  - c. Pada permukaan isolator secara menyeluruh, medan listrik tertinggi pada kondisi normal lebih tinggi yaitu pada nilai  $154 \times 10^3$  V/m, sedangkan pada kondisi normal berada pada nilai  $122 \times 10^3$  V/m.

3. Akibat adanya pengaruh kontaminan dan menyebabkan naik turunnya distribusi medan listrik pada permukaan isolator akan berpengaruh pada arus dan tegangan yang kemudian dapat menyebabkan *undervoltage* atau *overvoltage* pada kawat penghantar. Dimana, apabila arus yang naik, akan merusak fisik kawat penghantar, yang akan memicu terjadinya *short-circuit*.

## **5.2 Saran**

Saran untuk studi selanjutnya, dapat dilakukan desain untuk *Load Break Switch* tiga fasa pada tiang distribusi, agar dapat dianalisa medan listrik pada *Load Break Switch* terhadap tiang distribusi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Cavallaro, S. Musumeci, F. Chimento, and C. Santonocito, *“CAD Investigation of Voltage Potential and Electrical Field Distribution on 36 kV Load Break Switch”*, University of Catania, Italy,
- [2] Yusrizal Afif, Dimas Anton Asfani, dan I Made Yulistya Negara, *“Analisis Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Gantung Menggunakan Finite Element Method”*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [3] Ahmad Danyalin, I Made Yulistya Negara, dan Daniar Fahmi, *“Analisis Distribusi Medan Listrik pada Isolator Gantung di Ketiga Fasa saat Terkena Flashover Menggunakan Simulasi Berbasis FEM”*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [4] M. Reza Yogatama, I Made Yulistya Negara, dan Daniar Fahmi, *“Analisis Distribusi Medan Listrik pada Bushing Trafi Menggunakan CST Studio Suite”*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [5] I Made Yulistya Negara, *“Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis”*, Graha Ilmu, 2013
- [6] Rudy Simon Steven, Iwa Garniwa, *“Pengaruh Polutan terhadap Isolator Epoxy Resin”*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2008.
- [7] Hafizh Rahman, Abdul Syakur, Yuningtyastuti, *“Pengaruh Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) terhadap Tegangan Flashover dan Arus Bocor pada Isolator Berbahan Resin Epoksi Silane dengan Pengisi Bahan Bakar Pasir Silika”*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [8] ANSI/ IEEE C37.40. *“Service Conditions and Definitions for High-Voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-Pole Air Switches, Fuse Disconnection Switches, and Accessories”*, USA, 1981.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT HIDUP



**Grignion Kevin Ilham Pratama**, lahir di Jakarta, 15 Agustus 1993. Penulis memulai pendidikan Sekolah Dasar di SD St. Laurensia, setelah lulus pada tahun 2005 melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPK BPK PENABUR Gading Serpong. Pada tahun 2008 lulus, kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMAT Krida Nusantara dan lulus di tahun 2011. Di tahun yang sama melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember dengan mengambil Jurusan Teknik Elektro. Selama kuliah, penulis aktif di divisi Kalpataru Teknik Elektro sebagai pengurus. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan fokus pada riset mengenai isolator. Penulis dapat dihubungi melalui email [grignion11@mhs.ee.its.ac.id](mailto:grignion11@mhs.ee.its.ac.id)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*